

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізики металів

«На правах рукопису»
УДК 621.07.9:539.219.3

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 132 Матеріалознавство

**на тему: «Комплексний вплив електроіскрового легування Cr, Ti, C та
дробоструменевої обробки на структуру та властивості сталі 40X13»**

Виконав:

студент II курсу, групи ФМ-81мп
Мельниченко І.Р.

Керівник:

к.т.н., доцент Іващенко Є.В.

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

д.т.н., професор Левченко О.Г.

Консультант з організаційно-економічної частини:

к.е.н., доцент Петренко К.В.

Консультант з нормоконтролю:

ас. Шаповалова Н.А.

Рецензент:

к.т.н., доцент Богомол Ю.І.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 132 Матеріалознавство («Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Мельниченку Івану Руслановичу

1. Тема дисертації «Комплексний вплив електроіскрового легування Cr, Ti, C та дробоструменевої обробки на структуру та властивості сталі 40X13», науковий керівник дисертації Іващенко Євген Вадимович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3890-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження – формування легованого шару в результаті електроіскрового легування та наступної дробоструменевої обробки.

4. Вихідні дані: літературні дані та дані переддипломної практики.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
- 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
- 3) підготувати установку для проведення ЕІЛ;
- 3) провести процеси електроіскрового легування;
- 4) дослідити вплив ЕІЛ та дробоструменевої обробки на структуру та властивості утворених покриттів;
- 5) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1) Іващенко Є.В., Лобачова Г.Г., Мельниченко І.Р. (гр. ФМ-81мп). Формування зміцненого шару на сталі 40Х при електроіскровому легуванні титаном // Збірка тез доповідей XII Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів», 18 – 19 квітня 2019 р., Київ, Україна. – С. 96.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	д.т.н, професор Левченко О.Г.		
Організаційно-економічна частини	к.е.н., доцент Петренко К.В.		
З питань нормоконтролю	ас. Шаповалова Н.А.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання		
2	Огляд сучасних наукових робіт та написання літературного огляду		
3	Освоєння методик дослідження		
4	Виконання експериментальних досліджень		
5	Отримання результатів та їх обговорення		
6	Написання висновку та переліку посилань		
7	Оформлення роботи		
8	Оформлення презентації та написання доповіді		
9	Попередній захист		
10	Захист на засіданні ЕК		

Студент

І.Р. Мельниченко

Науковий керівник дисертації

Є.В. Іващенко

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 91 сторінок, 21 рисунки, 13 таблиць, 47 літературних джерел.

ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ (ЕІЛ), ДРОБОСТРУМЕНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ, ЛЕГОВАНІЙ ШАР, СТАЛЬ 40Х13, ХРОМ, ТИТАН, ВУГЛЕЦЬ

Мета роботи: дослідження впливу комплексної обробки на мікроструктуру, мікротвердість та фазовий склад поверхневих шарів сталі 40Х13, одержаних електроіскровим легуванням Cr – С – Ti у різній послідовності та наступним дробоструменевим зміцненням.

Методи дослідження: мікроструктурний, мікродюрOMETричний, гравіметричний та рентгеноструктурний.

Об'єкт дослідження: поверхневі шари сталі 40Х13, отримані електроіскровим легуванням хромом, вуглецем та титаном та наступним дробоструменевим зміцненням.

Встановлений ефект впливу дробоструменевої обробки на зростання мікротвердості зміцненого шару отриманого при ЕІЛ Cr – С – Ti від 12,4 ГПа до 14 ГПа а також збільшення мікротвердості підшару до 4,3 ГПа.

Практичне значення: отримані в роботі результати та встановлені закономірності формування структури та властивостей легованих шарів після процесу електроіскрового легування та механічної (дробоструменевої) обробки на повітрі можуть бути використані для подовження строку експлуатації деталей машин та механізмів, що працюють в умовах екстремальних навантажень.

ABSTRACT

Master's dissertation: 91 pages, 21 figures, 13 tables, 47 references.

ELECTRIC – SPARK ALLOYING (ESA), SHOCK TREATMENT, SHOT-BLASTING STRENGTHENING, DOPED LAYER, STEEL MARK 45, CHROMIUM, NICKEL

Purpose of study: investigation of the effect of complex processing on the microstructure, microhardness and phase composition of surface layers of 40X13 steel obtained by electrospark alloying of Cr – C – Ti in different sequence and subsequent shot blasting.

Methods: microstructural, microhardness, gravimetric and X-ray.

Subject of study: surface layers of 40X13 steel obtained by electrospark alloying of chromium, carbon and titanium and subsequent shot blasting.

The effect of shot blasting on the growth of the microhardness of the hardened layer obtained at ESA Cr – C – Ti from 12.4 GPa to 14 GPa and the increase of the microhardness of the sublayer up to 4.3 GPa was established.

Practical value: The obtained results in the formation and established patterns of structure and properties of alloy layers after electric-spark alloying process and mechanical treatment (shot-blasting treatment) in air can be used to extend the life of the machine parts and mechanisms operating under extreme loads.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ	9
ВСТУП	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Електроіскрове легування	12
1.1.1 Суть методу електроіскрового легування	12
1.1.2 Моделі процесу ЕІЛ	14
1.2 Вплив параметрів ЕІЛ на формування поверхневого шару	17
1.3 Особливості формування структури та покриттів, нанесених методом ЕІЛ ..	23
1.4 Дробоструменева обробка	26
1.5 Комплексна обробка	29
1.6 Висновки до розділу 1	30
2 МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ..	31
2.1 Вихідні матеріали	31
2.2 Корозійна стійкість сталі 40Х13	31
2.3 Застосування сталі 40Х13	32
2.4 Характеристика анодів, які використовували при ЕІЛ	32
2.5 Процес електроіскрового легування	33
2.6 Процес дробоструменевої обробки	34
2.7 Методи досліджень	34
2.7.1 Гравіметричний метод	34
2.7.2 Мікроструктурний аналіз	35
2.7.3 МікродюрOMETричний аналіз	35
2.8 Висновки до розділу 2	37
3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	38
3.1 Електроіскрове легування сталі 40Х13	38
3.2 Дробоструменева обробка сталі 40Х13	42
3.3 Комплексна обробка сталі 40Х13 ЕІЛ (Cr, C, Ti) + ДО	43
3.4 Рентгенофазовий аналіз	44
3.5 Висновки до розділу 3	47
4 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ	48
4.1 Актуальність	48
4.2 Мета і завдання стартап проекту	49

4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження	50
4.3.1 Визначення заробітної плати науково-виробничого персоналу	50
4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску	52
4.3.3 Визначення вартості матеріалів для проведення експериментів	52
4.3.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів	53
4.3.5 Визначення витрат на службові відрядження.....	53
4.3.6 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій.....	53
4.3.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат	53
4.3.8 Визначення накладних витрат.....	53
4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості НДР	54
4.4 Опис ідеї проекту.....	54
4.4.1 Технологічний аудит ідеї проекту.....	55
4.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап - проекту	56
4.6 Розроблення ринкової стратегії проекту	61
4.7 Розроблення маркетингової програми стартап – проекту	62
4.8 Формування системи збуту	64
4.9 Висновки до розділу 4	66
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	68
5.1 Аналіз наявності шкідливих та небезпечних виробничих факторів	68
5.1.1 Аналіз параметрів приміщення	68
5.1.2 Склад повітря робочої зони	71
5.1.3 Шум	73
5.1.4 Вібрації	73
5.1.5 Електробезпека	75
5.1.6 Електромагнітне випромінювання.....	76
5.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	77
5.2.1 Вимоги до організації робочого місця	77
5.2.2 Розрахунок вентиляції	78
5.2.3 Аналіз освітлення приміщення.....	79
5.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	80
5.3.1 Пожежна безпека.....	80
5.3.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	82
5.4 Висновки до розділу 5	83
ВИСНОВКИ.....	84

CONCLUSIONS	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	86

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ

ЕІЛ – електроіскрове легування

ДО – дросструменева обробка

ППД – поверхнева пластична деформація

ХТО – хіміко-термічна обробка

ЗПШ – змінений поверхневий шар

МЕП – міжелектродний проміжок

ВСТУП

Однією з найбільш важливих задач технічного прогресу є необхідність забезпечення довговічності та надійності деталей машин та інструменту, що працюють в складних умовах експлуатації, шляхом зміцнення поверхневого шару виробів.

Один з способів зміцнення приповерхневих шарів металів та сплавів є пластичне деформування поверхні. Одним з найбільш ефективних є дробоструменева обробка (ДО). ДО використовується для зміцнення деталей та інструментів складної форми, для обробки деталей, які мають низьку жорсткість та для очистки деталей від окалини, нагару, очистки зварних швів.

Електроіскрове легування є ефективним методом модифікації хімічного складу, структурно-фазового стану і властивостей поверхневих шарів металевих матеріалів, який оснований на використанні концентрованих потоків електричної енергії при протіканні імпульсних розрядів в міжелектродному середовищі і полярного перенесення матеріалу аноду на поверхню катоду (деталі).

Дія імпульсних розрядів на поверхню струмопровідних матеріалів призводить до складних структурних і фазових перетворень, які визначають широкий комплекс властивостей, отриманих поверхневих шарів. В результаті дії рідких фаз матеріалів аноду і катоду в поверхневих шарах утворюються сплав з складом, який неможливо отримати традиційними металургійними методами. При цьому інтенсивні процеси нагріву матеріалу до високих температур з великими градієнтами температур, підвищеним масоперенесенням легуючих елементів і охолодженням з критичними швидкостями призводять до утворення твердих розчинів, інтерметалідних і металічних сполук, метастабільних проміжних фаз, а також вторинних фаз.

При електроіскровому легуванні вплив міжелектродного середовища дуже суттєвий. Це відбивається на зміні товщини легованого шару та якості

зміцнюючого покриття, що, в свою чергу, визначає їхні фізико-хімічні властивості.

В останні роки досліджуються процеси комплексної обробки металів та сплавів, які полягають в послідовному проведенні дифузійного насичення та нанесення дифузійних шарів методом ЕІЛ в результаті яких отримані шари з покращеними фізико-механічними властивостями.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Електроіскрове легування

1.1.1 Суть методу електроіскрового легування

Електроіскрове легування ґрунтується на явищі електричної ерозії і полярного перенесення матеріалу аноду на катод при протіканні імпульсних розрядів в газовому середовищі [1].

Перевагами методу ЕІЛ, який запропонований в 1943 р. радянськими вченими Б. Лазаренко і Н. Лазаренко є: можливість локального нанесення будь-яких струмопровідних матеріалів, висока міцність зчеплення нанесеного шару з матеріалом основи, низька енергоємність процесу (0,5 кВт), високий коефіцієнт перенесення матеріалу (60 % – 80 %) і простота в здійсненні технологічних операцій, економічність та екологічна чистота [2].

Успішне використання ЕІЛ значною мірою визначається раціональним вибором легувального електроду з урахуванням взаємозв'язку властивостей легованого шару з фізико-хімічною природою матеріалів пари анод-катод, корозійною стійкістю аноду, режимами обробки та іншими параметрами процесу [3].

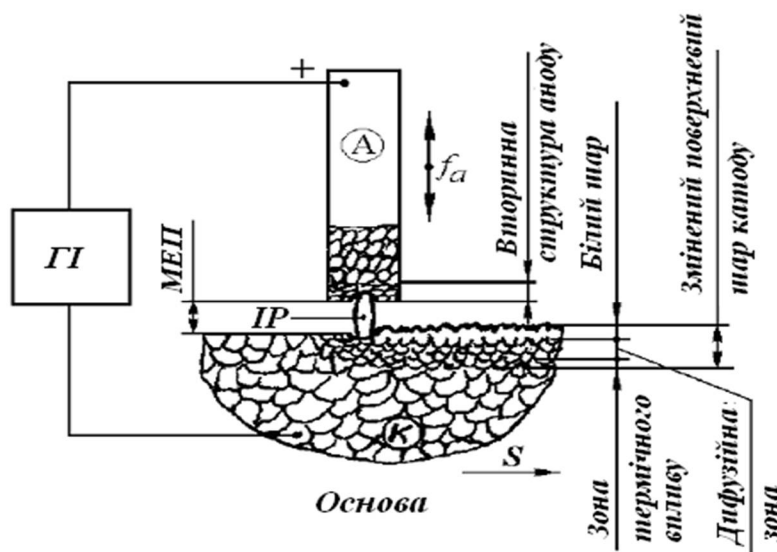
На теперішній час електроіскрове легування застосовується для збільшення твердості, корозійної стійкості, зносостійкості, жаростійкості, відновлення розмірів інструментів, деталей машин і механізмів, проведення на обробленій поверхні мікрометалургійних процесів для утворення необхідних хімічних сполук, створення на робочій поверхні перехідних шарів визначеної шорсткості, нанесення радіоактивних ізотопів [1].

Суть методу полягає в імпульсній дії електричних розрядів на струмопровідні матеріали катода та анода. Утворений електричний розряд формує на поверхні електродів зміцнені шари, які утворюються в результаті дії імпульсних теплових і механічних навантажень в області розряду, а також за рахунок хімічної взаємодії матеріалів. На поверхні катода під дією значних теплових навантажень проходять термомеханічні та дифузійні

процеси, під впливом яких здійснюється перемішування матеріалу катоду та аноду, що сприяє утворенню високої адгезії між основою і легованим шаром. Формування легованих шарів визначається складом, структурою, властивостями матеріалів електродів і технологічними параметрами процесу електроіскowego легування [4].

На рис 1.1 зображена принципова схема отримання покриття при ЕІЛ. Процес починається зі зближення аноду з катодом. При відстанні між ними, що дорівнює пробивній починається розвиток іскрового розряду тривалістю $10^{-6} - 10^{-3}$ с.

Після пробією міжелектродного проміжку за рахунок енергії, яка поступає від генератора імпульсів, на поверхнях розвиваються локальні осередки розплавлення, випаровування, які викликають електричну ерозію матеріалів.



ГІ – генератор імпульсів; МЄП – міжелектродний проміжок; ІР – іскровий розряд; А – анод (компактний електрод); К – катод (деталь); f_a – частота вібрації аноду; S – напрямок подавання деталі

Рисунок 1.1 – Загальна схема процесу ЕІЛ [3]

Цей полярний перенос матеріалу аноду на катод і забезпечує формування на ньому зміненого поверхневого шару. Після закінчення імпульсного іскрового розряду і відходу аноду від катода закінчується розрив електричного ланцюгу[4].

Основним параметром ЕІЛ вважається енергія електричного розряду (W_p), змінюючи яку можемо впливати на процес ЕІЛ, а також на фізичні та механічні характеристики виробів [1].

$$W_p = K \times \frac{C^2 U}{2}, \quad (1.1)$$

де K – коефіцієнт, що враховує втрати енергії у розрядному контурі;

C – ємність конденсаторів (Ф);

U – напруга на конденсаторах (В).

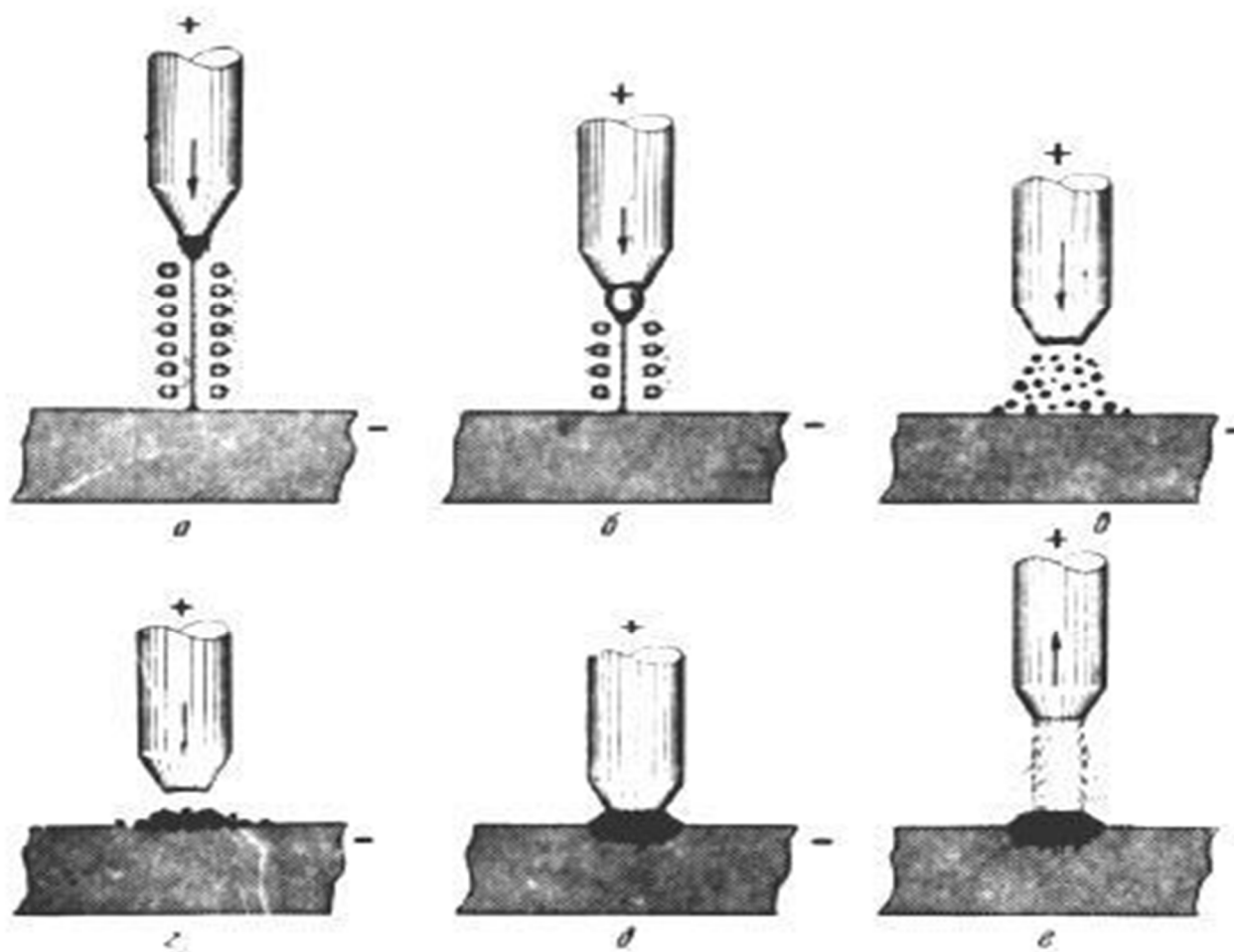
Поверхневий шар катода в результаті ЕІЛ, як правило змінює склад і структуру. Характеристиками такого сплаву можна варіювати в широких межах, підбираючи матеріал електродів, склад міжелектродних середовищ, параметри імпульсних розрядів і інші умови формування шару на катоді. Таким чином, метод ЕІЛ має великі можливості для створення робочих поверхонь з заданими експлуатаційними характеристиками [1].

1.1.2 Моделі процесу ЕІЛ

Фізична модель процесу ЕІЛ найбільш повно була описана в роботі засновників методу Б.Лазаренко і Н.Лазаренко [4], і полягає в наступному: при зближенні електродів напруженість електричного поля між ними збільшується і досягнув певної величини, викликає пробій проміжку між електродами. Через утворений канал наскрізної провідності пучок електронів сфокусовано вдаряється в тверду металічну поверхню аноду. Енергія руху електронів, що зупинилося виділяється в поверхневих шарах аноду, а енергія

від спеціального джерела живлення імпульсно підводиться до розрядного проміжку, тому щільність струму в каналі значно перевищує критичні значення. Внаслідок цього метал аноду локально розігрівається, розплавлюється і частково випаровується. Крапля розплавленого металу відділяється від аноду і рухається до катоду. В процесі відокремлення від аноду крапля встигає нагрітись до високої температури, закипає і зривається. Ланцюг струму переривається, фокусуюча дія електромагнітного поля зникає і утворені частинки летять широким фронтом до катоду. Досягнувши його, частинки анода з'єднуються з катодом і частково проникають в його поверхню. Електрод – анод, що рухається за частинками механічно вдаряється об катод, перемішуючи частинки аноду. При цьому відбуваються процеси дифузії і хімічних реакцій. Так як процес має локальний характер, то має і місце швидкісне гартування. Після цього електрод – анод відходить від катоду, а на поверхні катоду залишається міцно з'єднаний з ним шар матеріалу анода. Ця модель розроблена для високих значень напруг між електродами. Практично використовують напругу не вище (100 – 200) В, пробій міжелектродного проміжку відбувається практично при контакті електродів – зазор (5 – 10) мкм – через частинки, які знаходяться в повітрі або на поверхні електродів. Поверхня обробленої деталі являє собою сукупність впадин, геометричні розміри яких визначає шорсткість, суцільність обробленої поверхні. Так як ця модель була першою розроблена, то окремі моменти її потребують ряду доповнень і уточнень [4].

Пізніше А.Д. Верхотуровим у роботах [5, 6] було розглянуто узагальнену модель цього методу, яка відрізнялась від моделі Лазаренко кінетикою процесу, враховуючи поверхневі явища на аноді і катоді, що включають в себе: руйнування електродів в рідкій, паровій і твердій фазах, зміну властивостей робочих поверхонь за рахунок перенесення матеріалу і імпульсних навантажень. Узагальнену модель ЕІЛ представлено на рис 1.2.



а – момент пробою міжелектродного проміжку; б – відділення від анода краплі розплавленого металу; в – вибух розплавленої краплі; г – осадження і впровадження матеріалу анода на катоді; д – момент контакту електродів; е – розходження електродів

Рисунок 1.2 – Схема процесу нанесення покриттів на металеві поверхні [6]

Іскровий розряд впливає на матеріал електродів викликаючи імпульсну теплову і механічну дію. В результаті чого на поверхні електродів виникають об'ємні джерела тепла, що приводять до виникнення ерозійних лунок на аноді і катоді. В самій лунці виділяють три зони: випаровування, плавлення і напружений стан. Розмір зон плавлення і випаровування тим більші, чим менша температура плавлення, кипіння і коефіцієнт теплопровідності матеріалу електроду. Полярне перенесення матеріалу аноду на катод дозволяє в процесі ЕІЛ формувати на катоді поверхневі шари, які є

результатом взаємодії між собою матеріалів електродів і середовища міжелектродного проміжку.

Окрім, полярного ефекту, на явище перенесення значний вплив має величина міжелектродного проміжку, енергія імпульсного розряду, частота вібрації аноду. Перенесений еродований матеріал аноду в плазмовому потоці складається з рідкової, парової і твердої фази. При цьому частинки матеріалу аноду твердої фази розміром (1 – 2) мкм, як правило не закріплюються на поверхні катоду.

Головною перевагою узагальненої моделі А.Д.Верхотурова є можливість керування експлуатаційними властивостями покриття, змінюючи фізико-механічні та структурні характеристики електродних матеріалів. Проте, ця модель має недоліки, тому що вона не враховує взаємозв'язок: мікротвердість електродного матеріалу – мікротвердість легованого шару – зносостійкості отриманого покриття [5].

1.2 Вплив параметрів ЕІЛ на формування поверхневого шару

Формування поверхневого шару при ЕІЛ – це динамічний процес, при якому відбувається ерозія і перенесення матеріалу аноду на катод, а також постійне взаємне перемішування електродів.

Встановлено [7], що кількісні і якісні характеристики утвореного поверхневого шару в процесі ЕІЛ залежать від:

- 1) імпульсних іскрових розрядів, параметрів електричної схеми, генератора імпульсів;
- 2) тривалості обробки;
- 3) природи матеріалу електродів;
- 4) складу і стану середовища, в якому проводять обробку;
- 5) відносного розташування і руху електродів.

Як наслідок, було використано такі практичні рекомендації:

- 1) В процесі ЕІЛ приріст катоду змінюється нелінійно, особливо на жорстких режимах.

2) Для зменшення шорсткості поверхні необхідно зменшити енергію одиничних імпульсів при максимальній частоті обробки.

3) Чим більш інертне міжелектродне середовище, тим більший час обробки одиниці площі катоду і тим більший нанесений шар.

4) Для отримання значних за товщиною шарів з достатньою чистою поверхнею необхідно використовувати середні по енергії імпульси.

5) Покриття тим більше, чим менша шорсткість легуючої поверхні.

Розрізняють такі основні види переносу і взаємодії речовини електродів при ЕІЛ:

1) утворення покриттів на катоді із матеріалу аноду;

2) утворення сплавів сумішей, твердих розчинів, інтерметалідів в поверхневому шарі катоду в результаті взаємної дифузії елементів катоду і аноду;

3) перенесення речовини з катоду на анод з утворенням покриття [7].

При ЕІЛ ефективність процесу залежить від об'єму, гранулометричного і фазового складу речовини, яка утворилася із ерозійної лунки аноду під дією електричного розряду і перенесеного матеріалу аноду далі на поверхню обробленої деталі – катод [2, 8].

Коефіцієнт масоперенесення і якість шару залежать від взаємної розчинності матеріалів аноду і катоду. В тих випадках, коли вони утворюють необмежені тверді розчини (V, Cr, Co, Ni), прирости і коефіцієнти перенесення максимальні, а шар характеризується високою суцільністю і низькою пористістю. Для металів, які схильні до утворення інтерметалідів з залізом (Ta, Nb) ці показники трохи нижчі. В тих випадках, коли матеріал аноду в твердому стані мало розчинний в залізі, утворюються обмежені тверді розчини (Ti, Zr, Mo, W), коефіцієнт перенесення, суцільність шару, товщина – мінімальні, а сам шар характеризується наявністю раковин та пустот. Чим більша схильність матеріалу аноду до утворення твердих розчинів з матеріалом катоду, тим міцніший зв'язок з основою [9].

Особливий інтерес становить робота [10], в якій проводять дослідження зміни маси електродів від часу легування. В результаті експериментів встановлено, що в багатьох випадках в початковий момент часу ЕІЛ маса катоду зростає, а маса аноду зменшується [1, 11]. При цьому зменшення маси аноду не співпадає з приростом маси катоду, що можна пояснити тим, що частина речовини виділяється в навколишнє середовище в виді продуктів ерозії. Впродовж певного часу процес збільшення маси катоду уповільнюється і спостерігається зменшення маси катоду. Це можна пояснити різним співвідношенням вкладу в масоперенесення двох основних процесів:

- 1) збільшення маси катоду із-за полярного переносу речовини;
- 2) руйнування покриття за рахунок накопичення в ньому дефектів, утворення крихких оксидів;

Втеоретичному описі питання зміни маси електродів залишається відкритим, тому важливо експериментально встановити кількісні закони зміни маси катоду і аноду від часу обробки. В результаті досліджень [10 – 12] були отримані дані про те, що в більшості випадків маса катоду при електроіскровій обробці зростає до точки максимуму, а потім плавно спадає, а маса аноду змінюється навпаки. Проте в деяких випадках (при ЕІЛ Ta, Zr, V), коли час переходу залежності маси катоду від часу через максимум малий (менше 2 хв. Легування поверхні 1 см^2 поверхні) спостерігається зворотнє масоперенесення, тобто відбувається підвищення маси аноду при зниженні маси катоду.

За результатом роботи [10] виявлено, що зміна маси електродів від часу обробки описується поліномом другого степеня і на перенесення речовини з одного електроду на інший великий вплив має розчинність матеріалів, з яких виготовлені електроди. В початковий момент часу речовина переноситься з аноду на катод за рахунок зміщення точки максимального розігріву в сторону катоду та в напрямку електричного і гравітаційного полів. Внаслідок легування відбувається зміна складу поверхневих шарів електродів в сторону

збільшення концентрації елементу протилежного електроду. Чим вища густина металу катоду порівняно з матеріалом аноду, тим більш ймовірно спостерігається зворотнє масоперенесення.

Динаміка формування поверхневих шарів на катоді характеризується тим, що інтенсивність перенесення матеріалу аноду на катод максимальна в перші хвилини проведення процесу, при збільшенні часу зменшується, що визначається властивостями аноду і катоду. Кількісно приріст катоду пов'язаний з величиною ерозії катоду. В залежності від легуючого елемента криві ерозії аноду можуть мати як лінійний так і нелінійний характер. Тверді сплави, тугоплавкі метали і їх сполуки з вуглецем, бором, азотом мають лінійний характер залежності ерозії аноду від часу обробки. Нелінійний характер ерозії аноду спостерігали у матеріалів групи заліза, срібла, золота, платинової групи.

Зі збільшенням енергії розряду інтенсивність перенесення збільшується і максимум приросту катоду досягається за більш короткий час. Але в результаті якості шарів, що сформувалися, знижується – з'являються пори, тріщини, нерівності [11].

Встановлено [1], що вплив міжелектродного середовища проявляється в певних аспектах. З однієї сторони, високі температури в зоні розряду, іонізація міжелектродного газу, наявність рідкої і парової фаз на електродах сприяє інтенсивній взаємодії матеріалу електродів з елементами міжелектродного середовища і як наслідок цього відбувається зміна фізико-хімічних властивостей шару, який сформувався. Вивчаючи роль окисних середовищ при ЕІЛ встановлено можливість зміни характеру залежності $\gamma = F(t)$, підбором міжелектродних середовищ. Найбільш сильно це проявляється при обробці в енергетичних і відновлювальних середовищах, наприклад в аргоні, азоті, що дає можливість отримати більш товсті і якісні поверхневі шари, ніж при обробці на повітрі. З другого боку, особливості розвитку розряду в міжелектродному проміжку, його характеристики і

процес на електродах пов'язані з гомодинамічними і іншими властивостями міжелектродного газу, що впливає на приріст катоду і ерозію аноду.

Дослідження в роботі [13] показали, що мікротвердість зміцненого шару в такому середовищі вище, ніж мікротвердість при обробці в середовищі азоту, роблять висновок, що розмір мікролунок збільшується з підвищенням енергії електричного імпульсу при збільшенні окисних властивостей міжелектродного середовища і наявності карбідів металів.

Дія імпульсних розрядів на поверхню струмопровідних матеріалів в процесі ЕІЛ і електроерозійної обробки приводить до складних структурних і фазових перетворень, які в подальшому визначають широкий комплекс властивостей цих поверхонь. Найбільш ця дія проявляється на зміні твердості, зносостійкості, жаростійкості та корозійної стійкості, а також до адгезії, дифузії оброблених поверхонь [13].

В роботі [15] визначено, що МЕР визначається, по-перше силами відштовхування, які діють в електроіскровому розряді, по-друге – притискуючим навантаженням, яке намагається придавити електрод до поверхні деталі.

За даними рентгеноструктурного аналізу виявлено, що фазовий склад покриттів суттєво залежить від режиму легування. Максимально відповідали початковому складу електроду покриття, які отриманні при мінімальних значеннях тривалості імпульсів і міжелектродного проміжку.

Досліджені характеристики в роботі [15] показали, що твердість матеріалу покриття з зменшенням тривалості імпульсу і притискуючого навантаження зростає. Також виявлено зниження зносостійкості з збільшенням міжелектродного проміжку, що пояснюється підсиленням теплового впливу розряду на поверхнях електродів і процесами дисоціації та утворенням нових фаз.

Дослідження в області ЕІЛ направлені, головним чином, на пошук оптимальних режимів обробки і вибір матеріалу електродів з метою отримання покриттів заданого складу і товщини, які мають оптимальний

комплекс властивостей. Проте дослідження в цій області недостатні і малочисельні, тому автори роботи [16] провели встановлення основних закономірностей процесу формування легованого шару при одноразовому електричному розряді з контрольованими електричними і часовими параметрами. Метою роботи [16] було встановлення впливу сили струму і тривалості розрядів імпульсів на товщину поверхневого шару, який формується на катоді за рахунок осадження еродованого за час розряду металу аноду. Процес легування проводився на повітрі, анодами виступали мідні і вольфрамові стержні, катодами служили мідні, нікелеві та молібденові фольги товщиною (40 – 100) мкм, які були попередньо відпалені в високому вакуумі. Електричний розряд імпульсів струму силою 60 А, тривалість імпульсу від (0,005 до 0,8) мс, потужність – від (0,5 до 1) кВт. Товщина покриттів оцінювалась на основі даних по концентраційному розподілу металів на поверхні катоду в області дії розряду. Концентраційні профілі знімалися за допомогою рентгеноспектрального мікроаналізатора MAP-3 вздовж площини катоду в двох взаємоперпендикулярних напрямках. Діаметр електронного зонду не більше 5 мкм. Концентрація металів розраховувалась як відношення інтенсивностей ліній характеристичного рентгенівського випромінювання з врахуванням поправки на поглинання. Було показано, що при ЕІЛ одноразовими розрядами профіль концентричного розподілу осадженого на катоді металів аноду з задовільною точністю описує функція Лоренца [16].

У роботі [17] визначено можливості управління ступенем зміцнення поверхневих шарів металів методом ЕІЛ шляхом зміни енергетичних параметрів процесу. Визначено особливості формування субструктури в поверхневому шарі електродами з матеріалів з різним елементним складом, типом кристалічної решітки і впливом ступеня зміцнення на зносостійкість покриттів.

1.3 Особливості формування структури та покриттів, нанесених методом ЕІЛ

В процесі електроіскрової обробки в поверхневому шарі оброблених матеріалів відбуваються структурні перетворення, які детально було вивчено в роботах [4 – 9]. Металографічні дослідження показали, що зміцнена зона складається з трьох шарів. Перший шар білого кольору, який не піддається травленню, далі під ним знаходиться перехідний шар, що являє собою область термічного впливу електричних імпульсів і дифузійного проникнення елементів аноду та катоду. Нижче розташована зона з структурою основного металу підкладки – катоду, проте, можуть виникати і додаткові зони, в залежності від параметрів обробки.

Утворення білих шарів відбувається в умовах локальної дії високих температур і тиску [9]. Кристалізація, фазові перетворення, дифузія і хімічна взаємодія, які супроводжують процес ЕІЛ, приводять до утворення нерівновісних структур з дуже дрібним зерном, високою гетерогенністю за складом, структурою та властивостями.

Металографічним аналізом структура білого шару не виявляється, за виключенням легування підкладки зі сталі графітовим електродом, коли має місце насичення поверхні підкладки вуглецем з утворенням фаз системи залізо-вуглець. Більшість дослідників вважають, що білий шар слабо піддається травленню через особливий структурний стан. Проте, при електролітичному травленні поверхонь структура зміцненого шару в ряді випадків виявляється.

Деякі дослідники вважають, що мікроструктура білого шару не залежить від легуючого матеріалу, а відрізняється лише товщиною і відношенням нижнього та верхнього шару [9].

У випадку електроіскрового легування сталі в рідких середовищах (керосин, анілін), їхній зміцнений поверхневий шар складається з аустеніту, мартенситу і карбідів. Насичення аустеніту вуглецем досягає 1,5 %. Такі ж

висновки були зроблені при обробці сталі 40Х13 графітом і твердими сплавами на повітрі.

Механізм утворення білого шару відбувається шляхом перенесення електродного матеріалу на підкладку і хімічною взаємодією матеріалів електродів один з одним, а також з навколишнім середовищем.

Наприклад, шар, який отримано після ЕІЛ на сталій підкладці карбідом цирконію має в своєму складі аустенітну і мартенситну фази, карбід цирконію, а також оксиди і нітридні фази цирконію і заліза.

В склад білого шару входять елементи легуючого електроду і міжелектродного середовища. Їх вміст зменшується з глибиною шару, а збільшується в результаті підвищення потужності в імпульсі розряду. Проте, склад зміцненого шару може значно відрізнятися від складу електродних матеріалів. Це може бути пов'язано з високою швидкістю нагріву і охолодження, контактом ювенільних поверхонь один з одним і з елементами міжелектродного середовища в умовах імпульсної дії високих температур і тиску, високої швидкості дифузійних процесів, з різницею у швидкості ерозії структурних складових матеріалу електродів [9].

Аналіз робіт [1, 4] показав, що при електричній ерозії структура металу в зоні дії розряду сильно подрібнюється, особливо в центрі лунки, а на її краю і периферії спостерігаються залишкові деформації зсуву. Дослідженнями встановлено, що при електричній ерозії як в рідкому середовищі так і на повітрі на електродах з'являються нові фази, в результаті чого різко змінюються вихідні фізико-хімічні властивості поверхневих шарів.

Відомо з робіт [18-19], що для зміцнення і відновлення інструменту, деталей машин в якості аноду використовують графіт. Ефект зміцнення і підвищення зносостійкості при ЕІЛ графітовим анодом обумовлений, головним чином термічною дією імпульсного розряду і утворенням в сформованому шарі карбідів за рахунок дифузії і взаємодії графіту з рідкої фази матеріалу аноду. Графіт використовують як в якості зміцнюючої фази, так і в якості змазки (вільний графіт). В роботі [18] при варіюванні

технологічними і електричними параметрами ЕІЛ досліджено утворення в поверхневому шарі вільного графіту, що дає можливість отримання зміцнюючої фази – карбідів, причому в мілкодисперсному ізольованому стані. Обробку зразків проводили на установках типу «ЭЛИТРОН–26А» при енергії розряду (0,1 – 1) Дж, час легування від 1 хвилини до 3 хвилин, на 1 см^2 легованої площі. Рентгенографічним аналізом виявлено, що при використанні графіту у вигляді компактного електроду, вільний графіт в сформованому шарі практично не спостерігали. Проте, при подачі графіту в зону легування у вигляді порошку і застосування спеціальних модифікаторів (феросиліцій, силікокальцій, алюміній) на дифрактограмах виявляються лінії графіту.

Рентгенофазовим аналізом покриттів на армко-залізі було виявлено в поверхневому шарі аустеніт, карбіди і мартенсит.

Встановлено, що високий вміст вільного графіту в поверхневому шарі можна одержати лише шляхом його подачі у виді порошку (разом з модифікуючими матеріалами) в зону електроіскрової обробки. Зносостійкість графітизованих, таким методом поверхневих шарів із сталі 40Х13 і титанового сплаву підвищується в 7 – 8 разів.

У даній роботі [20] на прикладі ЕІЛ графітом титану і його сплавів вивчено утворення карбідів за різних умов обробки. Електроіскровій обробці піддавалися титан ВТ1-0 і його сплави ВТ6, ВТ3-1, ВТ14, ВТ20, ВТ23, ОТ4. В якості анода використовувалися бруски з графіту марки МПГ-6 і ЕГ.

Фазовий аналіз поверхневих шарів, сформованих у процесі ЕІЛ показав, що у всьому діапазоні спостерігалися в основному три фази Ti , TiC , Ti(CN) і графіт, тому що імпульсні розряди на повітрі створюють досить сприятливі умови для синтезу чистих нітридів та оксидів титану за рахунок утворення плазмою розряду збуджених молекул, атомів і іонів кисню та азоту.

Завдяки інтенсивним процесам і сублімації аноду – графіту вже на початку процесу ЕІЛ на катоді в зоні впливу розрядів з'являється шар

дрібнодисперного графіту, який при подальшій обробці покриває всю леговану поверхню. Наступні розряди протікають в цьому шарі і через нього, і він, можливо, і захищає рідку фазу титану від інтенсивного окислення. Наявність великої концентрації вуглецю в зоні появи рідкої фази титану забезпечує в першу чергу синтез TiC.

1.4 Дробоструменева обробка

Основними перевагами дробоструменевої обробки сухим дробом перед іншими обробками є те що конструкція установки досить проста і не вимагає суттєвих затрат на неї, не має потреби в промивці деталей після обробки, можливість обробки важкодоступних місць деталей, також за допомогою компресора можна отримати тиск, який потрібен в конкретній ситуації та подальше його підтримання на певному значенні, концентрований струмень з дробом.

До недоліків данної методики слід віднести досить великий нагрів деформованої поверхні, який відбувається через удари частинок дробу, які рухаються на високій швидкості, невелику глибину зміцнення, невисоку щільність і рівномірність потоку дробу, що впливають на однорідність й суцільність зміцнення.

Але вище зазначені недоліки майже усунені в установках, виду дробометного типу, в які подається дріб діаметром (0,1 – 0,2) мм. Дріб подається зверху під зазначеним тиском у внутрішню порожнину валу і розкидається щільним струменем через спеціальні отвори круглої форми або щілини, дріб під дією відцентрових сил набирає швидкість (40...100) м/с. Застосування мікрокульок замість дробу дозволяє більш тонко регулювати ступінь зміцнення у важкодоступних місцях, наприклад у западинах на расподільному валу в двигуні внутрішнього згорання [8].

Зазвичай застосовують дріб діаметром (0,4...1,5) мм. Чим менше діаметр дробу, тим шорсткість обробленої поверхні буде нижчою. При зміцненні деталей з концентраторами напружень на робочій поверхні кращі

результати отримують при обробці дробом, радіус якого відрізняється від радіуса концентраторів напружень типу галтелей, надрізів або канавок. При невеликих концентраторах напружень застосовують дріб з радіусом, більшим радіусу концентратора напружень. В цьому випадку зона впливу концентратора напружень не виходить за межі глибини зміцненого шару. Якщо концентратор напружень глибокий, слід застосувати мілкий дріб з радіусом, меншим радіуса концентратора напружень. Сталевий і чавунний дріб має значне розсіювання розмірів, форми і твердості, що значно впливає на якість поверхні. Цих недоліків позбавлений, наприклад, спосіб гідродробоударного зміцнення: в робочу суспензію входять стандартні сталеві кульки зі стабільними геометричними параметрами [9].

В результаті зміцнення поверхневого шару і поліпшення форми мікрорельєфу після всіх способів дробоструменевої обробки, дещо знижується інтенсивність зношування деталей машин. Всі способи дробометної обробки поліпшують характеристики міцності деталей і збільшують довговічність їх роботи в експлуатації. Так, зубчасті колеса, виготовлені із сталі марки 15ХГН2ТА, після зміцнення дробом підвищують свою довговічність на (15...20) %. Дробоструменева обробка знижує експлуатаційні поломки виробів з твердого сплаву. Так, у зміцнених різців у (1,8...2) рази зменшилась кількість руйнувань і дрібних викришувань. При цьому стійкість збільшилась у (1,1...1,8) рази. Дробоструменеву обробку можна рекомендувати тільки для нового інструмента, тобто застосувати її один раз [10].

Широко застосовується дробоструменева обробка для підвищення довговічності таких складних за формою деталей, як спіральні пружини. Середня міцність втомлення пружин, що пройшли дробоструменеву обробку з наступним відпуском, збільшується у 4 рази [3].

Дробоструменева обробка застосовується для багаторазового підвищення довговічності й надійності зварних вузлів різних машин, особливо тих, що працюють в умовах вібрації. Воно упереджує їх

розтріскування, що в десятки разів підвищує довговічність їх роботи в корозійних середовищах. Перспективним є поєднання дробоструменевої обробки з іншими. Так, наприклад, за рахунок хіміко-термічної і дробоструменевої обробки колінчатих валів швидкісних двигунів межа їх витривалості збільшується на 60 % [2].

У науковій праці [3] досліджено процес поверхневого пластичного деформування алюмінієвих сплавів Д-16Т, В93-Т і сталі 40ХГСНМА методами дробоструменевої обробки. Також було досліджено величину кривих деформації та залишок напружень після дробоструменевої обробки (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Величина кривих деформацій і залишкових напружень в поверхневому шарі зразків [9]

Матеріал	Середня величина прогибу, мм	Напруження		Глибина залягання, мкм	Макс. глибина залягання залиш. напружен., мкм
		Максим. кг/мм ²	Поверх., кг/мм ²		
Д-16Т	2,1	15...18	10...16	70...90	Д-16Т
В93-Т	2,2	18...22	10...12	100...120	В93-Т
40ХГСНМА	2,9	30...35	12...18	110...180	30ХГСНМА

З таблиці 1.1 видно, що зі збільшенням часу «наклепу» залишкові стискаючі напруження по абсолютній величині зростають: для алюмінієвих сплавів Д-16Т і В93-Т у 1,5 рази, для сталі 40ХГСНМА- в 1,4 рази при збільшенні часу обробки з 5 до 15 хвилин. Але при цьому необхідно відзначити, що глибина залягання максимальних залишкових напружень зменшується у 1,3 – 1,5 рази, як для алюмінієвих сплавів Д-16Т і В93-Т, так і для сталі 40ХГСНМА. При цьому чистота поверхонь зміцнених зразків у порівнянні з незміцненою поверхнею знижується незначно. Чистота залежить від марки оброблюваного матеріалу, а також від сили удару і діаметра

кульок, які створюють суцільне покриття відбитків. Округлені форми западин створює сприятливий мікрорельєф і суттєво перешкоджає зародженню втомних тріщин [3].

1.5 Комплексна обробка

Протягом останніх років набула поширення розробка новітніх методів обробки поверхні шляхом поєднання декількох видів зміцнення поверхонь зразків. Зокрема актуальності набула обробка деталі ЕІЛ та дробоструменевою обробкою, що значно підвищує міцність поверхні зразка.

У роботі [6] було досліджено вплив дробоструменевої обробки на структуру та властивості Cr – Ti – C електроіскрових покриттів на сталі 40X13. Для отримання на поверхні сталі 40X13 покриттів, було проведено трьохстадійні процеси ЕІЛ хромовим, вуглецевими та титановими анодами (у послідовності Cr – Ti – C) на повітрі при силі струму 1,5 А та напрузі 60 В. Тривалість нанесення кожного шару складає 3 хвилини. Для зміцнення легованих шарів використовувалася дробоструменева обробка. Зразки протягом хвилини бомбардували сталевими кульками розміром 0,5 мм – 1 мм за тиску 4000 Па. Товщина легованого шару становить 10 – 20 мкм та після дробоструменевої обробки товщина суттєво не змінюється і коливається в тому ж діапазоні. Найбільша мікротвердість спостерігається для зразка з послідовно нанесеними нікелем та хромом (7 ГПа). При послідовному ЕІЛ хромом, вуглецем та титаном мікротвердість покриття складає (10 – 11) ГПа на глибині 20 мкм, у той час, як на біля поверхні вона становить 2,5 ГПа. Це пояснюється тим, що хром який знаходиться під шаром нікелю має більшу мікротвердість і є карбідоутворюючим елементом, який при взаємодії з вуглецем основи утворює карбіди. Після дробоструменевої обробки мікротвердість обох легованих шарів збільшилась на (1,5 – 2) ГПа [6].

1.6 Висновки до розділу 1

Аналіз літературних даних свідчить про недостатню кількість матеріалу для вивчення комбінованих методів обробки, а саме електроіскрового легування Cr, C, Ti та подальшої дробоструменевої обробки сталі 40X13, тому дослідження процесів комплексної обробки сталі є актуальним.

Метод ЕІЛ – це досить поширений метод зміцнення поверхонь матеріалів. ЕІЛ є ефективним методом, що дозволяє використовувати значну кількість електродних матеріалів, що розширює можливості отримання поверхонь із заданими властивостями.

Дробоструменева обробка – метод зміцнення, суть якого полягає в пластичному деформуванні поверхневого шару деталі шляхом прямої ударної дії мікрокульок дробу, які подаються струменем на великій швидкості. Розглядаючи наведені наукові результати можна зробити висновок, що комбінована обробка – актуальна тема дослідження, яка потребує вивчення.

2 МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вихідні матеріали

Зразки для досліджень були виготовлені з матеріалу сталь 40X13. Хімічний склад даних сталі наведений у таблиці 2.1 [5].

Таблиця 2.1– Хімічний склад досліджуваного зразка

Матеріал	Хімічний склад, (мас. %)
сталь 40X13	Fe ~ 84; C ~ (0,35 – 0,44); Si ~ (0,5 – 0,6); Mn ~ 0,6; Ni ~ 0,6; S ~ 0,025; P ~ 0,03; Cr ~ (12 – 14).

2.2 Корозійна стійкість сталі 40X13

Сталь 40X13 після загартування і низького відпуску хорошу корозійну стійкість в атмосферних умовах (окрім морської атмосфери), слабких розчинах азотної кислоти при помірних температурах, річковій і водопровідній воді, що забезпечує повне розчинення карбідів. Підвищення температури відпуску супроводжується зниженням її стійкості до загальної корозії. Причиною зниження корозійної стійкості є збіднення твердого розчину, внаслідок виділення карбідів хрому. Зниження корозійної стійкості спостерігається при відпуску до 600 °C, потім відбувається деяке її збільшення. Проте корозійна стійкість не досягає рівня, який мають обидві сталі в загартованому або низковідпущеному стані. Корозійна стійкість істотно залежить від якості поверхні виробів. Рекомендується застосовувати шліфовану і поліровану поверхню. Таким чином, сталь 40X13 доцільно застосовувати або після температурної відпустки при (200 – 400) °C (з метою отримання високої твердості і корозійної стійкості), або після високої відпустки при (600 – 650) °C з метою отримання конструкційного матеріалу.

2.3 Застосування сталі 40X13

Сталь 40X13 в промисловому масштабі застосовують переважно як корозійностійкий матеріал з високою твердістю: різального, вимірювального і хірургічного інструментів; пружин, підшипників і інших виробів, працюючих на знос в слабоагресивних середовищах; побутових приладах і предметах домашнього вжитку; як жароміцний і жаростійкий матеріал при роботі до (400 – 450) °С для кріпильних виробів, валів, пружних елементів, що випробовують дію слабоагресивних середовищ, наприклад, при переробці нафти. Сталь 40X13 не зварюється.

2.4 Характеристика анодів, які використовували при ЕІЛ

В якості електродних матеріалів ми використали аноди, які виготовлені з чистого матеріалу – титану, хрому та вуглецю. Хімічний склад даних матеріалів представлений у таблиці 2.2 [5].

Таблиця 2.2 – Хімічний склад легувальних електродів

Матеріал аноду	Хімічний склад, мас %
Ti	до 99,9
Cr	до 99,9
Графіт марки МПГ-6	до 99,9

Титанові, хромові та вуглецеві аноди були вибрані з метою покращення властивостей поверхонь сталі 40X13, таких як твердість, зносостійкість, корозійна стійкість.

Титан – карбідоутворюючий елемент, який при електроіскровому легуванні підвищує твердість та зносостійкість.

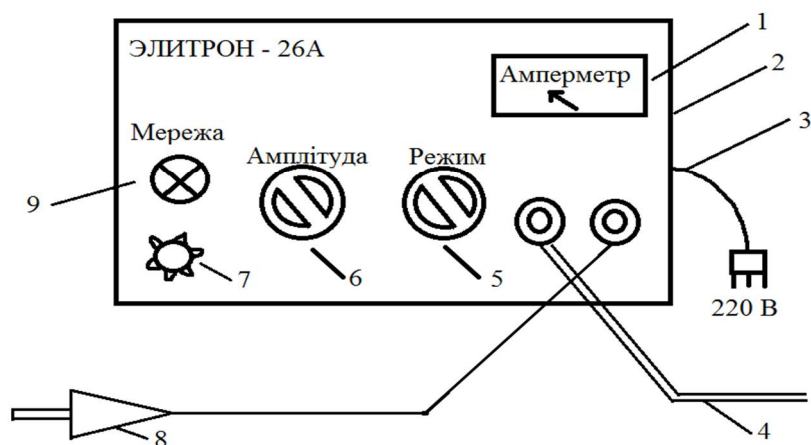
Хром – це легуючий елемент, за рахунок якого можна покращити зносостійкість та твердість матеріалу.

Вуглець – елемент, який при електроіскровому легуванні підвищує твердість та зносостійкість.

2.5 Процес електроіскрового легування

Для отримання на поверхні сталі 40Х13 необхідних покриттів, було проведено електроіскрове легування хромовим, вуглецевим та титановим анодом на повітрі при силі струму 1,5 А, напрузі 60 В та частоті імпульсу. Тривалість нанесення кожного шару складає 3 хвилини. Було проведено ЕІЛ (Cr – С – Ti), а потім ЕІЛ (Cr – Ti –С).

Електроіскрове легування проводилося на установці «ЭЛИТРОН–26А», зовнішній вигляд якої представлений на рис.2.1.



- 1 – амперметр; 2 – генератор; 3 – кабель живлення; 4 – з'єднаний кабель;
 5– тумблер ступінчастого регулювання режиму; 6 – тумблер регулювання амплітуди коливання аноду; 7 – вмикач живлення установки;
 8 – віброзбуджувач (на анод); 9 – сигнальна лампочка

Рисунок 2.1– зовнішній вигляд установки для електроіскрового легування «ЭЛИТРОН–26А» [11]

2.6 Процес дробоструменевої обробки

В основу пристрою дробоструменевої обробки покладений принцип нагнітання повітря під певним тиском. Для цього використовували електричний компресор, який під тиском близько 5 атм подавав потік повітря з дробом на наш зразок, який був зажатий у лещата. Від компресора до баку з дробом, який знаходився зверху, був проведений шланг для подачі повітря під тиском. Потім з баку, який містив дріб, йшов вже дріб під тиском в камеру прямокутну, де лежав наш зразок. Таким чином було проведено дробоструменеву обробку. Потім вся дріб, відпрацьована, висипалася знизу в спеціальний відсік для використаного дробу.

Дробоструменева обробка сталі 40X13 тривала протягом 3хв. Сталеві кульки діаметром (0,5 – 1) мм спрямовано бомбардували поверхню зразка при тиску близько 5 атм.

2.7 Методи досліджень

Для визначення впливу іонно-плазмового азотування з попереднім електроіскровим легуванням на структуру та властивості покриття сталі ХВГ та сталі Х12 МФ було проведено комплекс досліджень, що включає у себе:

- 1) мікроструктурний метод;
- 2) мікродюрOMETричний метод;
- 3) рентгенівський метод;
- 4) гравіметричний метод.

2.7.1 Гравіметричний метод

Метод оснований на вимірюванні маси зразків (анода і катоду) до і після електроіскрової обробки поверхні катоду після кожної хвилини.

З отриманих часових залежностей ерозії аноду та приросту ваги катоду визначають основні параметри процесу, такі як:

- 1) питома ерозія аноду та приріст маси катоду, які вимірюють за кожну хвилину обробки;

- 2) сумарна ерозія аноду та приріст маси катоду, виміряні за час;
- 3) коефіцієнт перенесення матеріалу визначався як відношення приросту маси катоду до величини ерозії аноду на кожній хвилині ЕІЛ.

2.7.2 Мікроструктурний аналіз

Мікрошліфи зразків досліджуваних сплавів готували закріплюючи їх в струбцини та відокремлюючи мідними прокладками. Потім зразки піддавали механічній обробці з метою отримання порівняно гладкої бездефектної поверхні, зручної для дослідження за допомогою мікроскопу [6]. Полірування проводили на сукні в оксиді хрому та на воді. Для вивчення структури дифузійного шару сплавів застосовували травник.

Дослідження мікроструктури сплавів проводилось шляхом візуального спостереження та фотографування структури на металографічному мікроскопі МІМ-10 при збільшенні 100 – 500 разів [10].

2.7.3 МікродюрOMETричний аналіз

Мікротвердість протравлених шліфів вимірювали на приладі ПМТ-3. Визначення мікротвердості проводилося шляхом вдавнення стандартної алмазної піраміди з двограним кутом при вершині 136 ° при навантаженні 20 г протягом (7 – 10) с.

$$H_{\mu} = 1854 \times P / (d \times 0.3), \quad (2.1)$$

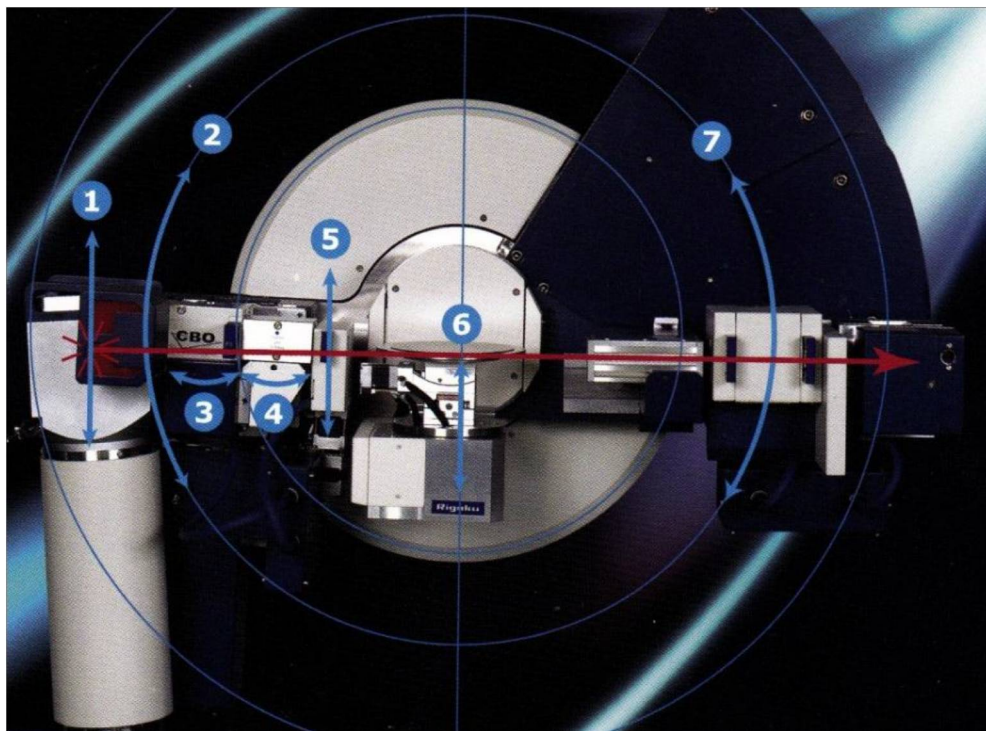
де H_{μ} – значення мікротвердості;

P – навантаження на індентор (точність визначення маси гирі вагою (20–100) г складає $\pm 0,1$ мг);

2.7.4 Рентгеноструктурний аналіз

За допомогою рентгеноструктурного аналізу було визначено період ґратки, кількісний аналіз фаз, розмір кристалітів; досконалість кристалічної структури, якісний фазовий аналіз покриттів на дифрактометрі «Ultima IV»

фірми «Rigaku» у мідному монохроматизованому випромінюванні ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$). Зйомка проводилась за напруги 30 кВ та струму 30 мА. Схема камери установки Rigaku Ultima IV зображена на рисунку 2.5.



1 – висота джерела; 2 – кут джерела; 3 – поперечна оптична балка;
4 – кристалооптика; 5 – висота прорізу; 6 – поверхня зразка; 7 – кут ходу
детектора

Рисунок 2.5 – Схема установки Rigaku Ultima IV [23]

Визначення міжплощинних відстаней проводилося за формулою Вульфа Бреггів (2.2):

$$2d\sin\theta = n\lambda, \quad (2.2)$$

де d – міжплощина відстань;

θ – бреггівський кут;

λ – довжина хвилі.

Період ґратки матеріалу основи розраховувався за формулою (2.3):

$$a = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \times \sqrt{H^2 + K^2 + L^2} \quad (2.3)$$

де HKL – індекси площин відбиття,

λ – довжина хвилі.

2.8 Висновки до розділу 2

1. Дослідження сталі 40X13 обумовлено тим, що за допомогою данного матеріалу можна спостерігати зміну фізико-механічних властивостей після електроіскрового легування хромом, вуглецем та титаном та комплексної обробки (ЕІЛ хромом, вуглецем, титаном та наступною дробоструменневою обробкою). За рахунок цього можна отримати об'єктивну оцінку та вивчити вплив процесу електроіскрового легування та комплексної обробки.

2. Показано доцільність використання комплексних методик дослідження матеріалів у данній роботі.

3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

В данній роботі було проведено окремо ЕІЛ сталі 40Х13 та комплексна обробка (ЕІЛ + ДО) зразків сталі 40Х13. Це було зроблено для того, щоб можна було порівняти результати комплексної обробки та електроіскрового легування.

Електроіскрове легування було проведено за схемою (Cr – С – Ti) та (Cr – Ti – С) на повітрі протягом 3 хвилин. Для всіх зразків було проведено мікродюметричний, мікроструктурний, гравіметричний та рентгеноструктурний аналізи.

3.1 Електроіскрове легування сталі 40Х13

Для того, щоб отримати легований шар було проведено електроіскрове легування Cr, С, Ti сталі 40Х13 на повітрі при струмі обробки (2-2,2) А, напрузі 60 В, тривалість обробки 180 с. На рис. 3.1 показано зміну сумарної маси катоду і ерозія аноду (хрому, вуглецю та титану) на одиницю площі у залежності від часу легування при ЕІЛ хромом.

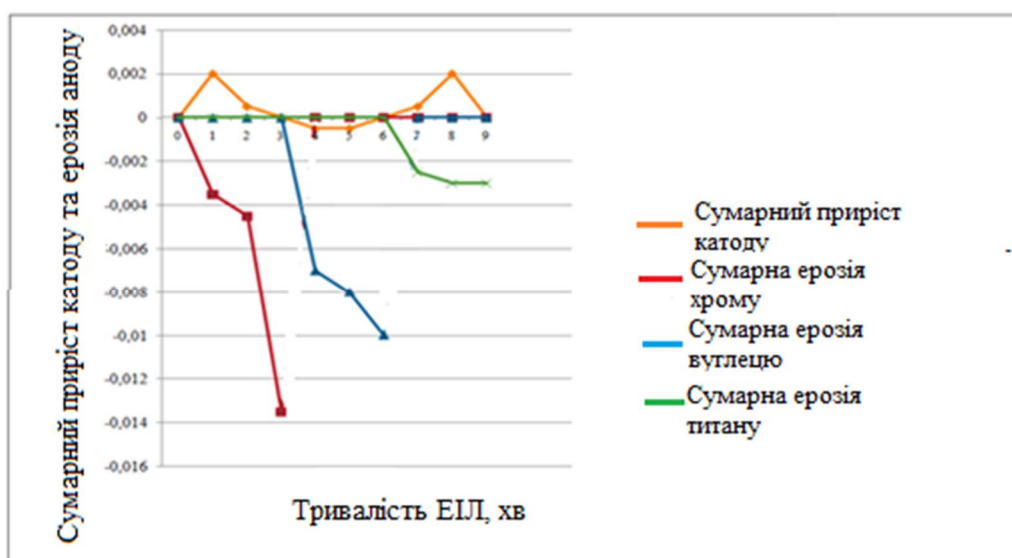


Рисунок 3.1 – Графік залежності зміни сумарної маси катоду та ерозії аноду від часу легування (Cr, С, Ti), сталь 40Х13

В процесі електроіскрового легування сталі 40X13 хромом, титаном та вуглецем було проведено гравіметричний аналіз. Дані з рис. 3.1 свідчать про те, що матеріал аноду переносився на катод і розпилювався невеликими об'ємами.

Мікротвердість сталі 40X13 після електроіскрового легування хромом, вуглецем та титаном становить 12,45 ГПа на відстані 9 мкм від поверхні (рис.3.2). Зміцнена зона становить 15 мкм.

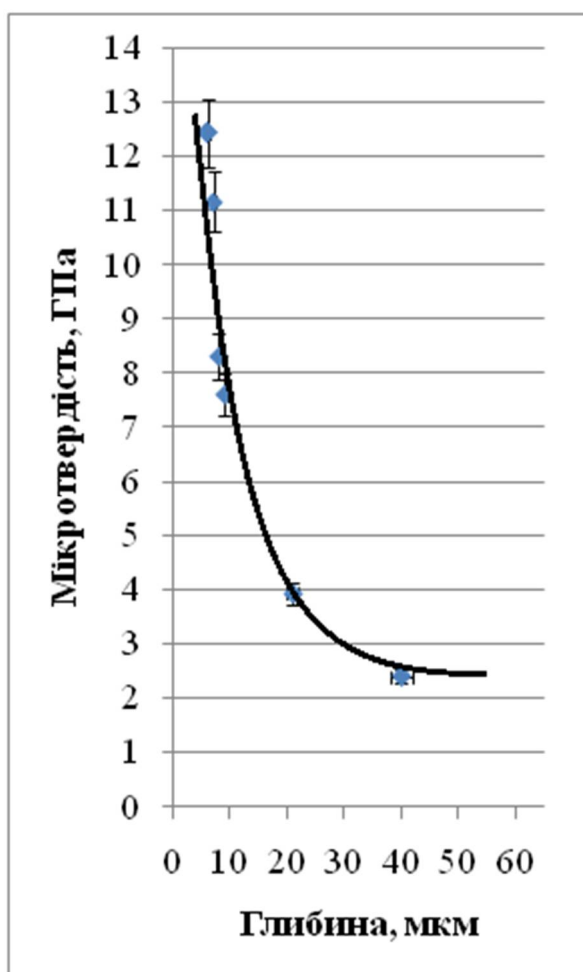


Рисунок 3.2 – Розподіл мікротвердості за глибиною шару сталі 40X13 після EIL (Cr, C, Ti)

Мікроструктура зразка сталі 40X13 після EIL (Cr, C, Ti) зображена на рисунку 3.3.

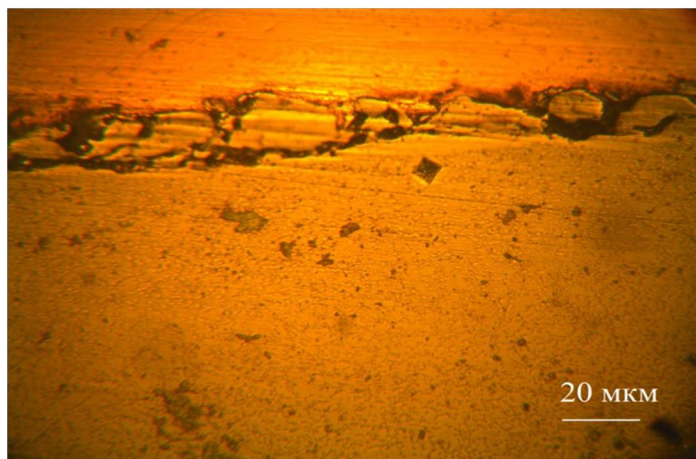


Рисунок 3.3 – Мікроструктура поверхневого шару сталі 40X13 після ЕІЛ (Cr, C, Ti)

Електроіскрове легування Cr, Ti, C сталі 40X13 було проведено на повітрі при струмі обробки (2-2,2) А, напрузі 60 В та тривалості обробки 180 с (рис. 3.4).

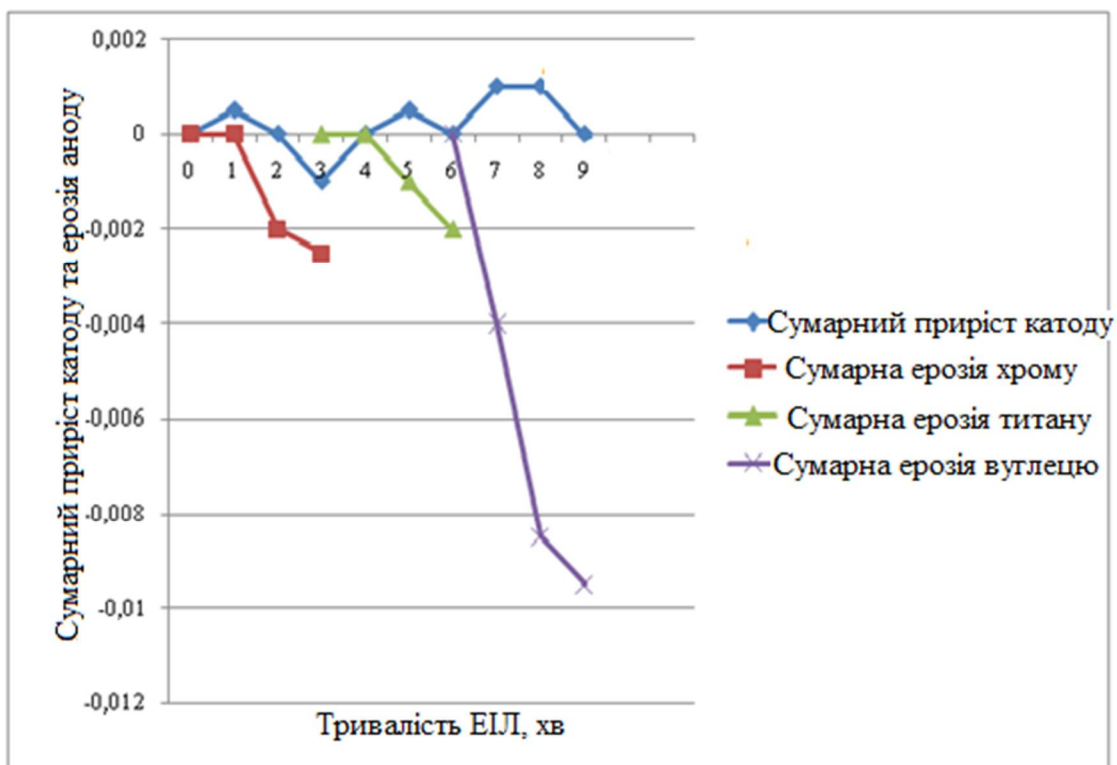


Рисунок 3.4 – Графік залежності зміни сумарної маси катоду та ерозії аноду від часу легування (Cr, Ti, C), сталь 40X13

Впродовж всього часу легування відбувається ерозія аноду, тобто відбувається зменшення маси матеріалу аноду. Сумарна маса катоду збільшується з часом легування. Це явище можна пояснити тим, що в результаті легування виникає масоперенесення матеріалу аноду на катод.

Мікроструктура сталі 40X13 після ЕІЛ (Cr, Ti, C) показана на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Мікроструктура сталі 40X13 після ЕІЛ (Cr, Ti, C)

Завдяки електроіскровому легуванню хромом, титаном та вуглецем сталі 40X13 мікротвердість зросла до 6,45 ГПа на глибині 6 мкм. Товщина нанесеного шару складає 20 мкм (рис.3.6).

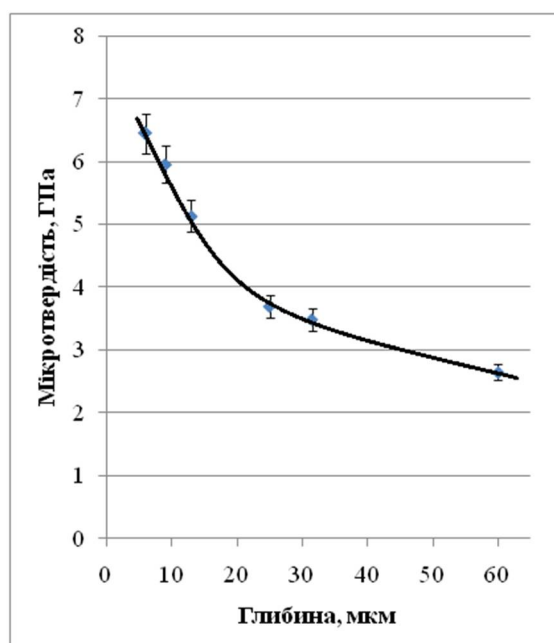


Рисунок 3.6 – Розподіл мікротвердості за глибиною шару сталі 40X13 після ЕІЛ (Cr, Ti, C)

3.2 Дробоструменева обробка сталі 40X13

Була проведена дробоструменева обробка сталі 40X13 при тиску 5 атм, тривалістю 3 хвилини, діаметр дробу 1 мм. Мікроструктура наведена на рис. 3.7.

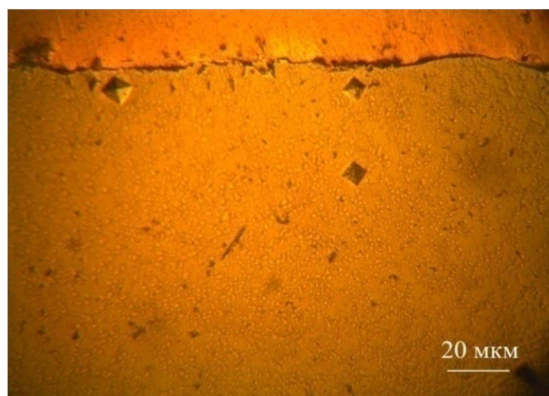


Рисунок 3.7 – Мікроструктура сталі 40X13 після ДО

Дані мікродюрOMETричного аналізу свідчать про те, що мікротвердість досягла значень 3,7 ГПа на глибині 7 мкм. Зона зміцнення становить 25 мкм (рис. 3.8).

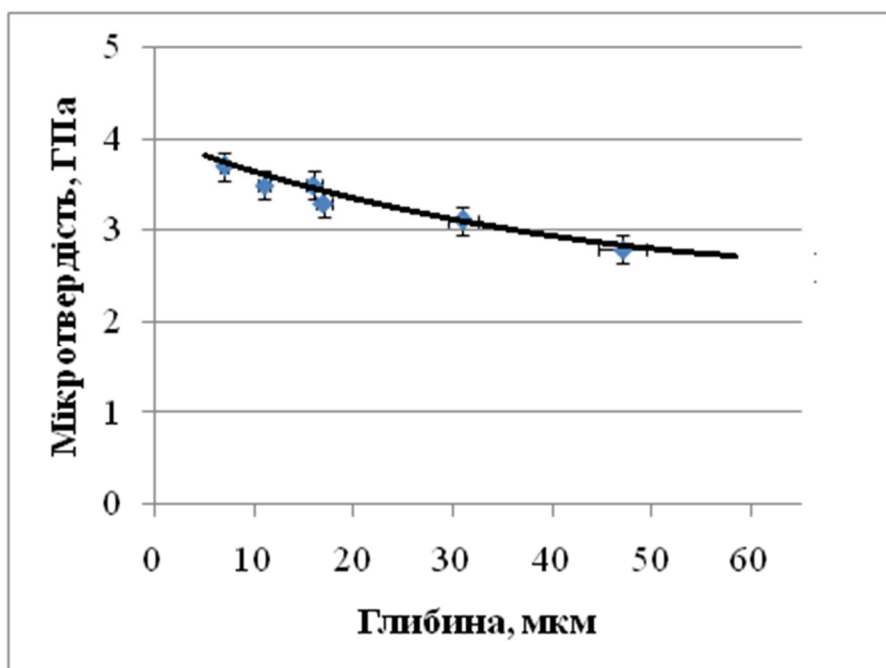


Рисунок 3.8 – Мікротвердість сталі 40X13 після ДО

3.3 Комплексна обробка сталі 40X13 ЕІЛ (Cr, С, Ti) + ДО

Дробоструменева обробка поліпшує характеристики міцності деталей і збільшує їх довговічність в процесі експлуатації. Дана обробка застосовується для підвищення рівня надійності зварних вузлів різальних машин, особливо тих, що працюють в умовах вібрації. Вона упереджує розтріскуванню деталей, що в десятки разів підвищує тривалість їх роботи в корозійних середовищах [30].

Мікроструктура сталі після комплексної обробки зображена на рис. 3.9.

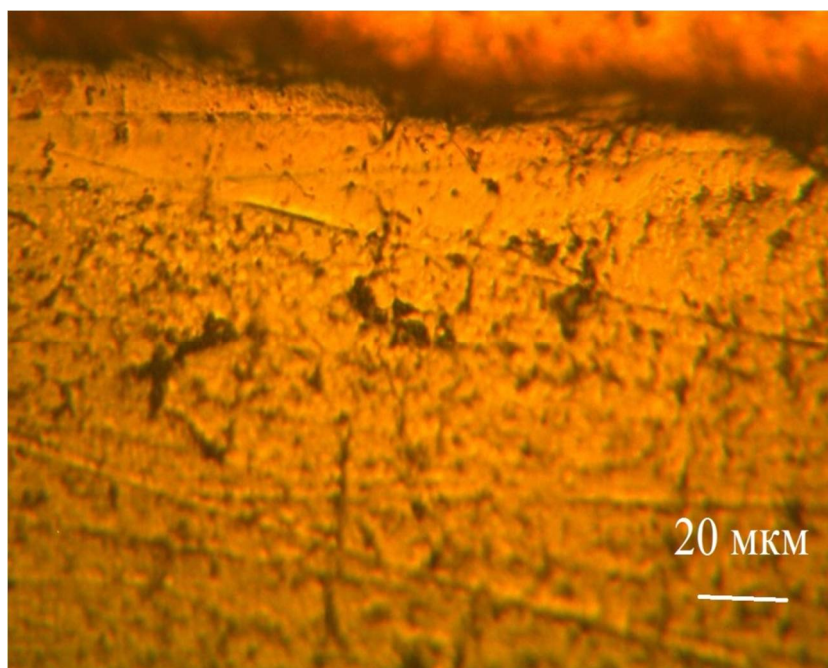


Рисунок 3.9 – Мікроструктура сталі 40X13 після комплексної обробки ЕІЛ (Cr, С, Ti) + ДО

Аналіз значень мікротвердості після комплексної обробки ЕІЛ (Cr, С, Ti) + ДО сталі 40X13 та мікротвердості сталі 40X13 після ЕІЛ (Cr, С, Ti) свідчить про те, що в результаті комплексної обробки утворився на поверхні сталі 40X13 підшар із підвищеною мікротвердістю – 4,5 Гпа (рис. 3.10).

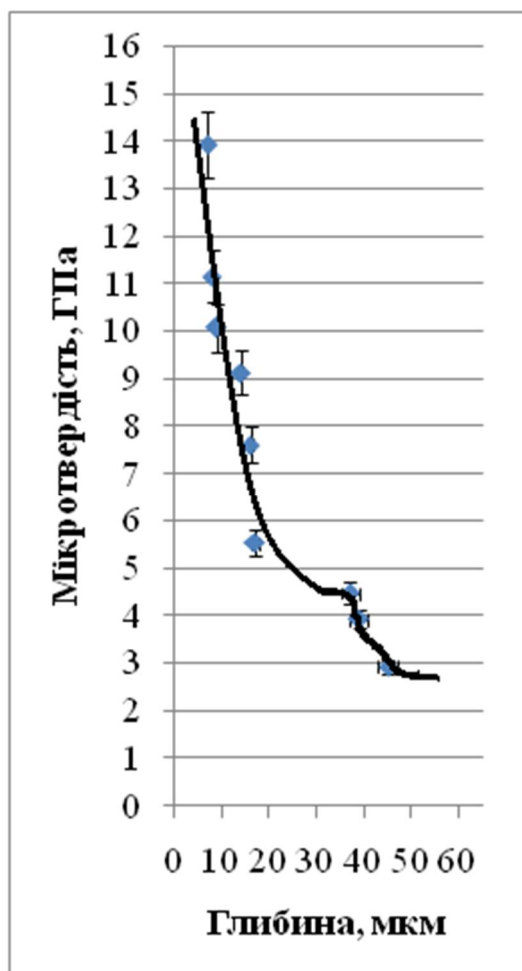


Рисунок 3.10 – Розподіл мікротвердості за глибиною шару сталі 40X13 після комплексної обробки ЕІЛ (Cr, C, Ti) + ДО

3.4 Рентгенофазовий аналіз

Для визначення фазового складу поверхневої ділянки зразків сталі 40X13 після ЕІЛ (Cr, Ti, C) провели рентгенофазовий аналіз. За даними аналізу (рис. 3.11) в покритті Cr – Ti – C виявлено такі фази: карбід титану TiC з періодом ґратки 4,245 Å, твердий розчин Fe,Cr з періодом ґратки 2.863 Å. Спостерігається одна лінія, що відповідає вуглецю (003).

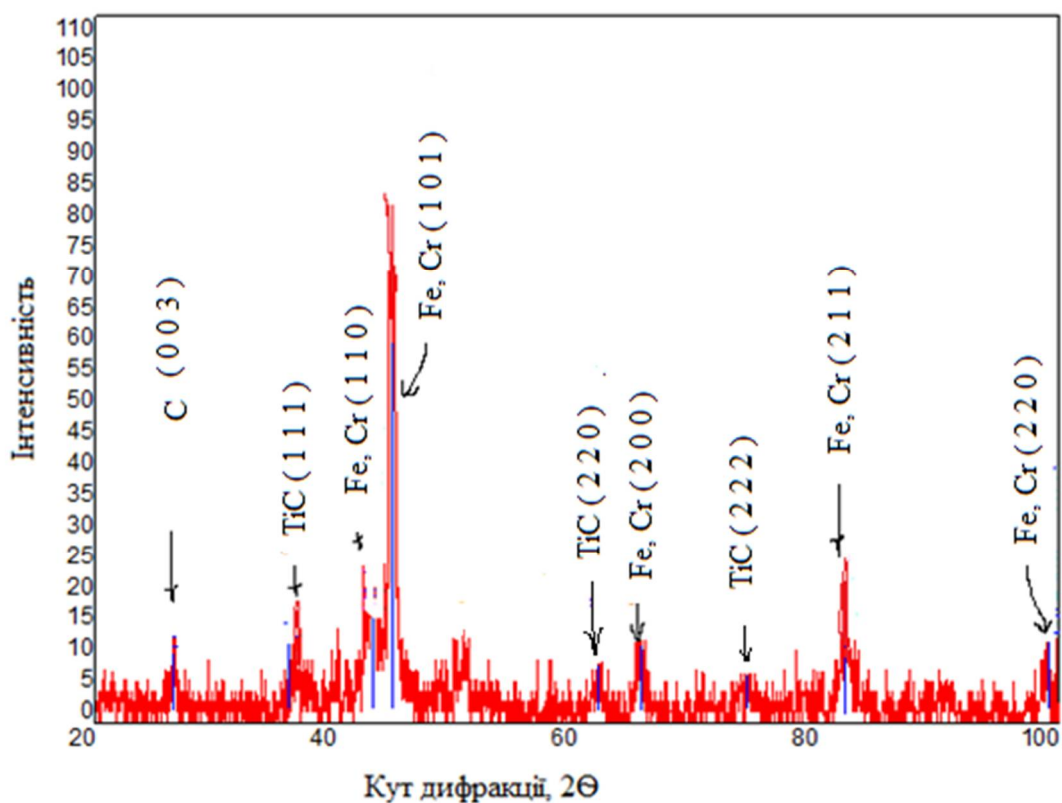


Рисунок 3.11 – Дифрактограма поверхневого шару сталі 40X13
після ЕІЛ (Cr, Ti, C)

На рисунку 3.12 зображена дифрактограма поверхневого шару сталі 40X13 після комплексної обробки ЕІЛ (Cr, C, Ti) + ДО. За результатами аналізу виявлені такі фази: карбід хрому Cr_7C_3 з періодом ґратки $10,876 \text{ \AA}$, карбід хрому Cr_{23}C_6 . Період ґратки дорівнює $14,016 \text{ \AA}$, карбід титану TiC . Для карбіду титану, період ґратки становить $4,230 \text{ \AA}$. Отримані експериментальні дані свідчать про те, що послідовність ЕІЛ сталі 40X13 суттєво впливає на мікротвердість та фазовий склад поверхневих легованих шарів. ЕІЛ в послідовності Cr – Ti – C призводить до формування твердого розчину Fe,Cr та карбіду титану TiC , а ЕІЛ в послідовності Cr – C – Ti призводить до виникнення карбідів хрому Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 та карбіду титану TiC . Така відмінність у фазовому складі ймовірно зумовлена тим, що при послідовності ЕІЛ Cr – C – Ti вуглець взаємодіє з нанесеним шаром хрому, що і сприяє формуванню карбідів хрому.

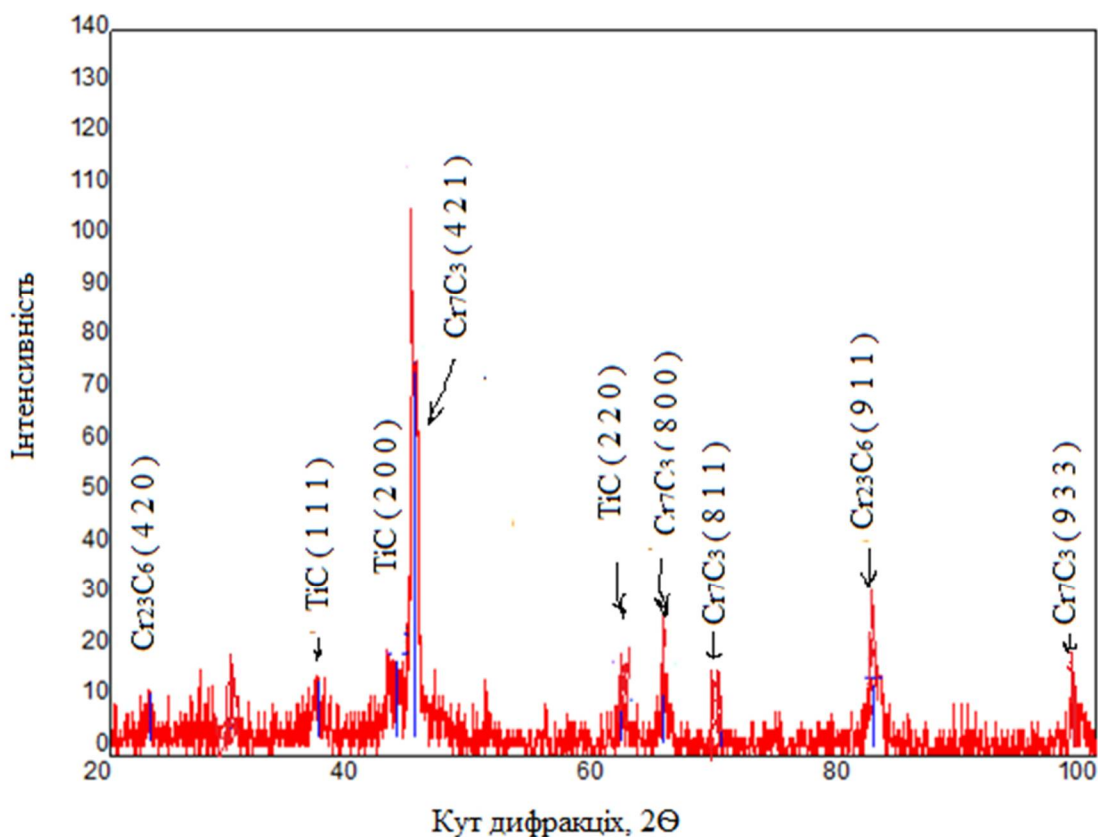


Рисунок 3.12 – Дифрактограма поверхневого шару сталі 40X13 після комплексної обробки (ЕІЛ (Cr, C, Ti) + ДО)

Наступне нанесення титану буде сприяти формуванню карбіду титану TiC . Така різниця у фазовому складі призводить до різниці в мікротвердості легованих шарів. Наявність в поверхневому шарі карбідів хрому та карбідів титану при послідовності ЕІЛ Cr – C – Ti призводить до більшої мікротвердості шару (12,45 ГПа), ніж наявність твердого розчину Fe, Cr та карбіду титану TiC при ЕІЛ в послідовності Cr – Ti – C.

Важливим ефектом впливу ДО на мікротвердість поверхневого шару отриманого при ЕІЛ Cr – C – Ti є підвищення твердості підшару до 4,3 ГПа на глибину 40 мкм. Це може сприяти збільшенню опору поверхневого шару контактним навантаженням.

3.5 Висновки до розділу 3

1) Виявлений ефект впливу дробоструменевої обробки на мікроїтвердість зміцненого шару, отриманого при ЕІЛ (Cr, C, Ti). Мікротвердість зростає від 12,4 ГПа до 14 ГПа.

2) Встановлено, що дробоструменева обробка сталі 40X13 призводить до формування поверхневих зміцнених зон мікротвердість яких – 3,5 ГПа.

3) Встановлено, що ЕІЛ сталі 40X13 в послідовності Cr – C – Ti приводить до формування поверхневих зміцнених зон з більшою мікротвердістю – 12,9 ГПа, ніж ЕІЛ сталі 40X13 в послідовності Cr – Ti – C (6,45 ГПа). Це зумовлено формуванням в поверхневому шарі при ЕІЛ Cr – C – Ti карбідів хрому та карбіду титану, на відміну від формування твердого розчину та карбіду титану.

4) Показано, що комбінована обробка сталі 40X13 – ЕІЛ Cr – C – Ti з наступною дробоструменевою обробкою призводить до формування зміцненого підшару з мікротвердістю 4,5 ГПа та протяжністю 15 мкм.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП - ПРОЕКТУ

4.1 Актуальність

В останні роки великого поширення серед організацій-початківців і різних об'єднань молодих вчених набули startup-проекти (стартапи). Стартап – це тільки-но створена компанія (можливо, навіть не є ще юридичною особою), яка знаходиться на стадії розвитку і будує свій бізнес або на основі нових інноваційних ідей, або на основі технологій, які щойно з'явилися [39]. Для стартапу характерні: обмеженість початкових інвестицій; швидкий розвиток; низькі шанси на успіх [40]. Основним документом, що характеризує стартап, є бізнес-план – обов'язковий письмовий документ, що визначає ділові можливості та перспективи подальшого розвитку, а також роз'яснює, як ці можливості можуть бути реалізовані наявною командою.

Для задоволення потреби машинобудування, металообробки та інших галузей в металорізальному інструменті, а також забезпечення економії дорогих і дефіцитних марок сталі, що застосовуються при виготовленні інструменту і деталей машин, необхідно ширше використовувати різні функціональні покриття. Вони можуть забезпечити довговічності та надійності деталей машин та інструменту, що працюють в складних умовах експлуатації, шляхом зміцнення поверхневого шару виробів. Розробка методів і технологій нанесення захисних покриттів на робочій поверхні та підвищення фізико-механічних характеристик отриманих шарів є дуже важливим завданням [8].

Останнім часом набула поширення розробка новітніх методів обробки поверхні шляхом поєднання декількох технологій зміцнення. Актуальною стала обробка деталі електроіскровим легуванням (ЕІЛ) та механічною обробкою (ударна обробка, дробоструменеве зміцнення), що значно підвищує міцність зразка (підвищує міцність в 2 – 5 разів). ЕІЛ має ряд переваг, окрім того, що це простий і дешевий метод, він дозволяє змінювати механічні, термічні, електричні, термоємісійні та інші властивості робочих

поверхонь, за рахунок модифікування їх структури, що сприяє підвищенню фізико-механічних властивостей.

Обробка поверхонь заготовки поверхневою пластичною деформацією (ППД) забезпечує низьку шорсткість і необхідні фізико-механічні властивості. Зменшення шорсткості поверхні супроводжується зменшенням мікронерівностей з одночасним зміцненням обробленої поверхні — наклепом. В результаті наклепу підвищуються усі характеристики металу, знижується його пластичність і збільшується твердість. Ударну обробку в основному використовують для підвищення втомної міцності деталей. Зміцнення досягається шляхом зниження шкідливої дії концентраторів напружень за рахунок створення в поверхневих шарах деталі внутрішніх напружень стиску і подрібнення кристалічної структури. Це особливо важливо для деталей, які працюють в умовах циклічних знакозмінних навантажень і в корозійних середовищах. Тому застосування комбінованої обробки дозволить значно підвищити мікротвердість, зносостійкість, зменшити шорсткість, внутрішні дефекти та підвищення інших характеристик матеріалу, при мінімумі затрат часу, коштів та енергії.

4.2 Мета і завдання стартап проекту

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження

Науково-дослідницька робота виконується в лабораторії для іонного азотування на кафедрі фізики металів КПІ ім. Ігоря Сікорського. Планова собівартість визначається за наступними видатковими статтями витрат:

- 1) витрати на основні матеріали, необхідні для проведення НДР;
- 2) заробітна плата наукового персоналу;
- 3) витрати на обладнання для проведення експерименту;
- 4) єдиний соціальний внесок;
- 5) вартість матеріалів, які необхідні для НДР;
- 6) інші невраховані витрати по темі;
- 7) накладні витрати.

4.3.1 Визначення заробітної плати науково-виробничого персоналу

Розрахунок заробітної плати науково-виробничого персоналу базується на визначенні трудомісткості робіт окремих виконавців та їхньої денної заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах НДР).

У виконанні даної НДР приймали участь чотири виконавці: провідний науковий співробітник, старший науковий співробітник, провідний інженер та інженер-дослідник. Для КПІ ім. Ігоря Сікорського місячні посадові оклади заробітної плати складають:

- провідного наукового співробітника – 12052 грн.;
- старшого наукового співробітника – 10572 грн.;
- провідний інженер – 6029 грн.;
- інженера-дослідника – 5730 грн.

Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2. Таким чином, величина денної заробітної плати виконавців складає:

- для провідного наукового співробітника – 568,49 грн.;
- старшого наукового співробітника – 498,68 грн.;
- провідного інженера – 284,39 грн.;
- інженера-дослідника – 270,28 грн.

У випадку відсутності відповідних розрахункових методик трудомісткість різних етапів виконання НДР встановлюється на базі експертних оцінок, які дають провідні фахівці. При цьому НДР розглядається як сукупність макроетапів, аналіз кожної окремої операції не проводиться. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів НДР наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість макроетапів виконання НДР

Макроетапи НДР	Трудомісткість, люд.-дні			
	Провідний науковий співробітник	Старший науковий співробітник	Провідний інженер	Інженер-дослідник
1. Аналіз фахових публікацій за темою	10	7	9	
2. Обґрунтування мети та напрямів досліджень	4	4	6	
3. Розробка методики проведення досліджень за темою	4	6	8	
4. Проведення експерименту:			10	3
4.1 Підготовка шліфів для іонного азотування та ЕІЛ			3	
4.2 Проведення ЕІЛ	5		4	10
4.3 Проведення іонного азотування	6	5		
4.4 МікродюрOMETричний аналіз	10	5	4	
5. Обговорення результатів НДР	6	6	6	
Всього	45	33	50	13

Величина фонду заробітної плати виконавців (ФЗП) обчислюється як сума добутків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з них:

- для провідного наукового співробітника – 568,49 грн.;
- старшого наукового співробітника – 498,68 грн.;

– провідного інженера– 284,39 грн.;

– інженера-дослідника – 270,28 грн.

$$\Phi\text{ЗП} = 45 \times 568,49 + 33 \times 498,68 + 50 \times 284,39 + 13 \times 270,38 = 59771,63 \text{ грн.}$$

4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Згідно з діючим законодавством єдиний соціальний внесок (B_C) складає 22 % від заробітної платні.

$$B_C = 0,22 \times 59771,63 = 13149,76 \text{ грн.}$$

4.3.3 Визначення вартості матеріалів для проведення експериментів

Для проведення ЕІЛ та дробоструменневої обробки використовувались зразки сталей 40X13. Дані про вартість перелічених матеріалів наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів

Найменування матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
1. Сталь 40X13	кг	0,300	130	39,00
2. Листовий шліфувальний папір	шт.	10	7,00	70,00
3. Спирт	літр	0,300	100	30,00
4. Травник	літр	0,200	22	4,40
5. Чистий Ti	кг	0,100	80	8,00
В цілому				164,90

Транспортно-заготівельні витрати приймаємо у розмірі 10 % від вартості матеріалів.

Повна сума витрат на матеріали (C_M):

$$C_M = 164,90 \times 1,1 = 181,39 \text{ грн.}$$

4.3.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів

При виконанні НДР усі роботи проводилися з використанням лише наявного обладнання в лабораторіях КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4.3.5 Визначення витрат на службові відрядження

Усі роботи, пов'язані з виконанням НДР за даною темою, проведені в лабораторіях КПІ ім. Ігоря Сікорського. Окремі службові відрядження не планувались.

4.3.6 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій

При виконанні даної дипломної роботи сторонні організації участь не брали.

4.3.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат

Інші прями невраховані витрати ($C_{\text{інш}}$) плануються у розмірі 10 % від врахованих.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \times (59771,63 + 13149,76 + 181,39) = 7310,28 \text{ грн.}$$

4.3.8 Визначення накладних витрат

До накладних витрат (H_B) відносяться витрати на заробітну плату адміністративно-управлінського, господарчого та допоміжного персоналу (разом з єдиним соціальним внеском), утримання та експлуатація виробничих площ, наукових приладів та установок, витрати на допоміжні виробництва, витрати на охорону праці, техніку безпеки та екологію, фінансування підготовки кадрів, воєнізованої охорони і деякі інші.

Норматив відрахувань на накладні витрати (H_B) для КПІ ім. Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 16 % планової суми прямих витрат на виконання НДР [41]. Розраховуємо величину накладних витрат наступним чином:

$$H_B = 0,16 \times (59771,63 + 13149,76 + 181,39 + 7310,28) = 12866,09 \text{ грн.}$$

4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості НДР

Планова кошторисна вартість НДР визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Калькуляція планової кошторисної вартості НДР за темою

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн.	%
1. Фонд заробітної плати виконавців теми	ФЗП	59771,63	64,1
2. Єдиний соціальний внесок	В _с	13149,76	14,08
3. Матеріали необхідні для виконання теми	С _м	181,39	0,19
4. Спеціальне обладнання для наукових робіт	С _{об}	–	–
5. Роботи і послуги сторонніх організацій	С _{стор}	–	–
6. Витрати на службові відрядження	С _{від}	–	–
7. Інші прямі невраховані витрати	С _{інш}	7310,28	7,84
8. Накладні витрати	Н _в	12866,09	13,79
Всього		93279,15	100

4.4 Опис ідеї проекту

В межах підпункту було послідовно проаналізовано певні ідеї стартап проекту (таблиця 4.4), а саме:

- 1) зміст ідеї (що пропонується);
- 2) можливі напрямки застосування;

3) основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);

4) чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників[41].

Таблиця 4.4 – Опис ідеї стартап-проекту [41]

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка захисного покриття на металевих корпусах (корпус телефона, ноутбука, тощо)	1) Електропровідне захисне покриття для електроніки	1) Низька тривалість процесу та висока продуктивність; (0,25 см ² /хв. -12 см ² /хв.)
	2) Зносостійке, антикорозійне покриття на металевому корпусі	2) Простота процесу;
	3) Відновлення попередньо легованих металевих пластин	3) Дешевизна процесу;
	4) Штамповка візерунків на попередньо легованому металі	4) Екологічна чистота процесу. 5) Зміцнене надтонке покриття.

4.4.1 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Головна ідея зміцнення деталей представлена у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5– Технологічна здійсненність ідеї проекту [41]

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Штамування захисного зміцненого, тонкого шару	Ерозія матеріалу аноду на поверхню матеріалу при ЕІЛ та наступна ударна обробка (штамповка);	Технологія наявна	Технологія доступна

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що розробка та реалізація даної технології не завдасть жодних перешкод, адже дана технологія існує на ринку та доступна для реалізації.

4.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап - проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [42].

Для аналізу попиту на ринку дослідження звужимо до рівня м. Києва. У середньому вартість одного металевого корпусу для телефону 400-500 грн. Кількість збутої продукції за день в середньому складає 50 штук. В середньому на місяць припадає 21 день, отже підрахуємо середнє значення всієї збутої продукції за місяць: $500 \times 20 \times 21 = 525000$ грн без податків та інших обов'язкових платежів. Усі підрахунки та перспективи реалізації стартап проекту наведені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап – проекту [42]

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	500
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	52500
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Досить важко територіально знайти місце з мінімальною кількістю конкурентів; Важко знайти постачальників сировинної продукції
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	14%

Для визначення актуальності вкладення грошових та матеріальних ресурсів на впровадження даної технології варто зрівняти діючу облікову ставку НБУ та середню норму рентабельності ринку (14 %). З 26.05.2017 р. НБУ прийняло рішення про зниження облікової ставки до 12,5 %. Таким чином, рентабельність ринку є вищою, що свідчить про те, що даний проект є привабливим для інвестування.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Характеристика потенційних клієнтів стартап – проекту [42]

Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Уникнення внутрішніх пошкоджень техніки (механічні, термічні, корозійні)	Побутова техніка (корпуси телефонів, ноутбуків, тощо)	-новітня техніка та технології, які застосовуються; -швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; -кваліфікований персонал; -гарантія якості; -надійність, висока міцність, корозійна здатність	1) якість; 2) допустима собівартість; 3) надання чітких гарантій; 4) швидкість виконання

З таблиці 4.7 можемо спостерігати, що для запровадження стартап-проекту необхідно мати відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів, а саме новітню техніку і технології, які потрібно розвивати з напливом кількості цільової групи.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості. Усі фактори загроз вказані у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8– Фактори загроз [43]

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток.	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат (витрати на рекламу, організацію збуту, науково-дослідні й дослідно-конструкторські розробки (НДДКР)).
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус бранда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань;
3	Відсутність можливості отримання знижок при закупівлях внаслідок невеликих обсягів	Велика вартість на закупівлю сировинної продукції та малий ринок збуту готової	- втрати ліквідності; - втрати платоспроможності; - втрати фінансової рівноваги;
4	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості технічного обладнання	- втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації; - скорочення обсягів виробництва в результаті використання застарілого обладнання.

Для визначення потенційних клієнтів важливо провести аналіз фактору можливостей, та визначити сильні сторони проекту (рис. 4.9).

Таблиця 4.9– Фактори можливостей [44]

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що у свою чергу призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток НДДКР	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.
3	Високий рівень технічної оснащеності	Можливість завербування високо кваліфікаційних спеціалістів; Вихід на новий більш прибутковий ринок	Збільшення якості та кількості продукції

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера).

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції. Це:

- 1) Контурент, що вже є у галузі;
- 2) Потенційні конкуренти;
- 3) Наявність товарів-замінників;
- 4) Постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- 5) Споживачі.

Таким чином, ми визначили середні значення впливу появи нових конкурентів, сили впливу товарів-замінників, сили впливу покупців, сили впливу постачальників, інтенсивності конкуренції між фірмами [44].

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.10) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 4.10– SWOT - аналіз стартап – проекту [44]

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
1) молодий і кваліфікований колектив; 2) порівняно недорогі початкові матеріали; 3) дуже широкий асортимент послуг, включаючи суміжні галузі; 4) послуга дешевша наявних на ринку аналогів; 5) для впровадження послуги потрібно відносно малі затрати.	1) брак власного устаткування; 2) додаткові транспортні витрати; 3) наявність на ринку компаній, які мають своїх покупців/клієнтів, і, відповідно, добру репутацію.

Продовження таблиці 4.10

Можливості (О):	Загрози (Т):
1) посилення позиції на ринку;	1) зростаюче конкурентний тиск;
2) вихід на нові сегменти ринку;	2) швидке копіювання конкурентами;
3) збільшення різноманітності у взаємозалежних продуктах;	3) поява нових конкурентів з товарами-замінниками;
4) підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу.	4) захвачені частки ринку іншими компаніями перешкоджають залучення клієнтів.

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод поверхневої обробки деталей дає можливість при мінімальних затратах підприємства виготовляти та випускати порівняно якісну та дешеву для клієнта продукцію [43].

4.6 Розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках матеріальних факторів виробництва (засобів і предметів праці); по-друге, рішень про номенклатуру, обсяги та якість придбаних і використовуваних усередині підприємства ресурсів.

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства.

Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- 1) Проникнення на ринок.
- 2) Розвиток ринку.
- 3) Розробкотовару.
- 4) Диверсифікація.

Спираючись на основні характеристики послуги, варто визначитись з базовою стратегією розвитку підприємництва. Оскільки дана послуга передбачає менші витрати, порівняно із схожими видами послуг, варто застосувати стратегію спеціалізації. Це є доцільним, оскільки підприємство може завоювати клієнтів як за допомогою меншої вартості наданих послуг, так і за допомогою диференціації [44].

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.11).

Таблиця 4.11– Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Даний проект не є «першопрохідцем на ринку»	Компанія буде шукати нових споживачів, з розширенням продукції компанія буде на вигідних умовах буде забивати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки	Стратегія спеціалізації

4.7 Розроблення маркетингової програми стартап – проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 4.12 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [45].

Таблиця 4.12 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Зміцнення металевих корпусів телефонів	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість	Комбінований метод обробки поверхні, що призведе до більшої міцності; швидкість обробки.

Задля розроблення маркетингової стратегії варто зробити опис трьох рівнів моделі послуги. Послуга за задумом передбачає зміцнення металевих корпусів електроніки, що дозволить збільшити його зносостійкість, та стійкість до впливу навколишнього середовища.

Характеристики: товщина легованого шару (30 – 100) мкм, загальна товщина корпусів після удару – (0,1 – 1) мм; збільшення мікротвердості, зносостійкості, корозійної стійкості; не впливає на загальну масу корпусу.

До переваг серед конкурентів, можна віднести попередньо легований шар на поверхню металевих корпусів перед процесом штамповки, який збільшить мікротвердість у (2 – 4) рази. Також дешевизна процесу, адже технологія є досить простою, тому у порівнянні з конкурентами ціна на продукцію зменшиться у 1,5 рази.

Методика, яку планується використовувати, є унікальною. Тому задля забезпечення її від копіювання конкурентами, можна запатентувати методику.

4.8 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й внести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах [44].

При виборі програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами [46].

До завдань реклами відноситься, в першу чергу, інформування про відкриття підприємства, що запровадило унікальну послугу для зміцнення поверхні корпусів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 – Оцінка конкурентного середовища діяльності компанії [46]

Конкурентні сили	Фактор	Стан фактору	Оцінка фактору в балах		
			1	2	3
1	2	3	4		
1.Проникнення Нових Конкурентів	1.1. Рівень вхідного бар'єру	Значна економія на масштабах збуту		x	
		Високий рівень фінансових інвестицій			x
		Низький ступінь диференціації продукції	X		
		Консерватизм існуючої системи поставок		x	
		Необхідність залучення постійних покупців			x
	1.2. Реакція діючих підприємств на появу нових конкурентів	Відсутність активної маркетингової політики	X		
		Низька інноваційна активність управління персоналом	X		
		Слабке використання методів ведення конкурентної боротьби		x	
	Середнє значення впливу появи нових конкурентів ($I_{нк}$)			1,88	

Продовження таблиці 4.13

1	2	3	4		
2.Поява товарів-замінників	2.1. Вплив товарів – замінників	Перевагу отримує товар з нижчою ціною		x	
		Тенденції до реалізації дешевшого і менш якісного товару		x	
		Відсутність суттєвих розбіжностей в асортименті основних конкурентів	x		
	2.2.Протизаконна імітація існуючих виробів	Поява великої кількості товарів - замінників, отриманих в результаті дублювання відомих марок	x		
	Середнє значення сили впливу товарів-замінників (I_{m3})		1,5		
3.Конкурсна сила покупців	3.1. Вплив покупців на конкурентні позиції підприємства	Високий ступінь організації споживачів		x	
		Великі можливості покупців у виборі товарів- аналогів		x	
		Високий ступінь стандартизації продукції			x

4.9 Висновки до розділу 4

Незважаючи на всі за і проти, розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш

довговічних та якісних деталей. Дана комбінована обробка дозволить значно підвищити міцність та зносостійкість деталі. Також вихід більш дешевого та якісного покриття відразу приверне увагу користувачів.

При аналізі ринку виявлено, що бар'єром для успішного розвитку стартап проекту може стати продукція-замінники від конкурентів, а також бренд, який вони створили. Також використання конкурентами новітніх технологій може призвести до зменшення кількості користувачів. В загальному, стартап - проект має переваги над конкурентами, тому має місце до подальшої імплементації.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою данного розділу є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які можуть призвести до травмування в процесі дослідження легованих покриттів на поверхні технічного заліза, які були нанесені електроіскровим легуванням Ti, Cr, C анодами та наступною дробоструменевою обробкою, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та безпеку в надзвичайних ситуаціях.

Для цього потрібно розглянути наступні чинники:

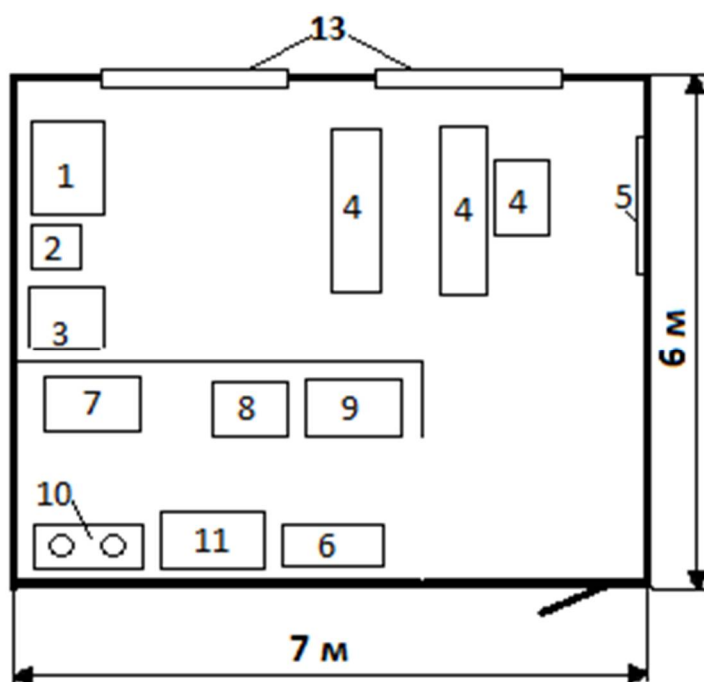
- 1) Мікроклімат робочої зони;
- 2) Склад повітря робочої зони;
- 3) Шум;
- 4) Вібрації;
- 5) Освітлення;
- 6) Електричний струм.

5.1 Аналіз наявності шкідливих та небезпечних виробничих факторів

5.1.1 Аналіз параметрів приміщення

Робота виконувалася на кафедрі фізики металів КПІ. Ігоря Сікорського в лабораторії електроіскрового легування (ЕІЛ) № 036. Схематичне зображення лабораторії, а також розташування всіх елементів представлено на рис. 5.1.

Було проведено вимірювання параметрів приміщення лабораторії та розрахунки площі і об'єму, що припадають на одну особу. Розрахунки наведені в таблиці 5.1.



1 – твердомір ПМТ-3, 2 – тумба, 3 – комп’ютер, 4 – робочі столи,
5 – дошка, 6 – шкаф, 7 – стіл для шліфування, 8 – прилад для вимірювання
зносостійкості, 9 – прилад «Елитрон – 26», 10 – полірувальні круги, 11 – стіл

Рисунок 5.1 – Розташування робочих місць в приміщенні, де проводились дослідження

Таблиця 5.1 – Параметри науково-дослідної лабораторії

Характеристика	Виміряні дані
Довжина, м	7
Ширина, м	6
Висота, м	3,8
Площа, м ²	42
Об’єм м ³	159,6
Площа на одну особу, м ²	6
Об’єм на одну особу м ³	42

Згідно зі СНиП 2.09.04-87 норма площі на одну особу становить 4,5 м²,
а норма об’єму приміщення на одну особу – 15 м³.

Тобто, лабораторія 036-9, згідно з СНиП 2.09.04-87 [46] , відповідає нормам.

Для забезпечення оптимального мікроклімату «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 встановлюють оптимальні і допустимі температуру, відносну вологість та швидкість руху повітря в робочій зоні в залежності від пори року та категорії важкості робіт [47].

Категорію важкості виконуваної роботи можна визначити як – Легка, 1б (ДСН 3.3.6.042-99). Ця категорія включає в себе легкі фізичні роботи, які супроводжуються деякою фізичною напругою та виконуються сидячи, стоячи і роботи пов'язані з ходьбою. Нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні промислових приміщень приведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря робочої зони виробничих приміщень

Категорія робіт	Параметр мікроклімату	Період року	Нормовані значення мікроклімату ДСН 3.3.6.042 – 99		Данні вимірювань	Висновки
			Оптимальні	Допустимі		
Легка І б	Температура, °C	Холодний	21-23	17 – 25	17	допустимі
		Теплий	22-24	19 – 30	24	оптимальні
	Відносна вологість повітря, %	Холодний	60-40	75	72	допустимі
		Теплий	60-40	60	54	оптимальні
	Швидкість руху повітря, м/с	Холодний	0.1	не більше 0,2	0,2	допустимі
		Теплий	0.2	0,1 - 0,3	0,2	оптимальні

Значення показників температури, відносної вологості та швидкості руху повітря для легкої I б категорії робіт у лабораторії 036 не відповідають оптимальним вимогам, але знаходяться в області допустимих для непостійного робочого місця в холодний та теплий період року [48].

5.1.2 Склад повітря робочої зони

В процесі приготування шліфів на механічному верстаті утворюється неорганічний пил з сполукою кремнію та окисел хрому Cr_2O_3 при поліруванні пастою “ГОІ” у мокрому середовищі. ГОСТ 12.1.005-88 [47] передбачає гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони: пил з діоксидом кремнію до 4 % – ГДК = 4 мг/м^3 , клас 3; для окису хрому ГДК = 1 мг/м^3 , клас 2. В таблицю 5.4 занесені виміряні та допустимі значення концентрації речовин, що виділяються при приготуванні шліфів. Процес приготування шліфів завершується їх травленням. В цій процедурі застосовуються: спирт етанол для обезжирювання та 3 % процентний розчин азотної кислоти в спирті для травлення.

Таблиця 5.3 – Концентрація речовин при приготуванні шліфів

Речовина	Концентрація речовини, мг/м^3	
	Виміряна	Допустима за нормами (ГДК)
Пил з діоксидом марганцю	8	4
Оксид хрому	0,25	1
Етанол	800	1000
Азотна кислота	3	5

З таблиці 5.3 видно, що фактичні значення концентрації речовини для пилу з діоксидом кремнію до 4 % та окислу хрому перевищують гранично допустимі концентрації. Враховуючи коротку тривалість шліфування та

поліровки, для забезпечення безпечної роботи достатньо використовувати засоби індивідуального захисту – ШБІ «Лепесток 5». Для травників допустимі норми не перевищуються, тому ніяких засобів захисту використовувати не потрібно.

Титан широко застосовується в чорній і кольоровій металургії, в порошковій металургії. Титан - біоелемент. Основний шлях надходження в організм – у вигляді пилу і парів. Титан має фіброгенну дію (4 клас небезпечності).

У робочих відзначаються слабкість, підвищена стомлюваність, порушення сну, хронічний бронхіт, часто з явищами бронхоспазму, розвиток дихальної недостатності, гіпоксія міокарда (ЕКГ).

При роботі з пилом металевого титану (з огляду на його вибухонебезпечність) необхідне застосування відповідних протипожежних заходів, а також попередні та періодичні медичні огляди [48].

Хром, як легуюча добавка, потрапляє в організм через дихальні шляхи і починає діяти вже в ділянці верхніх дихальних шляхів, причому на слизовій оболонці носа під його впливом можуть розвиватися некротичні процеси, виразки верхніх дихальних шляхів, можливі пневмонії. Шестивалентний хром, як канцерогенна речовина, створює ризик розвитку віддалених в часі онкологічних наслідків [49].

У виробничих умовах не завжди можна знизити вміст усіх шкідливих речовин до ГДК за рахунок застосування тільки загальнообмінної та місцевої вентиляції. Тому в таких випадках необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД). До ЗІЗОД належать респіратори, промислові протигази та ізолюючі дихальні апарати, які застосовуються для захисту від шкідливих речовин (аерозолів, газів, пари), що знаходяться в оточуючому повітрі [50].

Основними вимогами до респіраторів є забезпечення на протязі всього часу їх експлуатації очищення повітря, що вдихається, від шкідливих речовин до ГДК [50].

Враховуючи коротку тривалість обробки хромом та титаном, для забезпечення безпечної роботи достатньо використовувати засоби індивідуального захисту – ШБ1 «Лепесток 5».

5.1.3 Шум

Науково-дослідницька робота виконувалась на установці «Елитрон-26», що видає певний шум під час роботи, також шум надходив у процесі дослідження зразків на зносостійкість.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСТ 12.1.003-86. У ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів ДСН 3.3.6.037-99 [22].

Науково-дослідницька робота виконувалась на установці «Елитрон-26», що видає певний шум під час роботи, також шум надходив у процесі дослідження зразків на зносостійкість.

У даному випадку наявний імпульсний шум. Так як робота на установках, які викликають шум, проводилась рідко, тому для захисту від шуму використовували засоби індивідуального захисту – біруші.

5.1.4 Вібрації

Вібрацією називається механічний коливальний рух, що полягає в переміщенні тіла як цілого. Вібрація, на відміну від звуку, не поширюється у вигляді хвиль стискування/розрядки, а передається тільки при механічному контакті одного тіла з іншим. У природі вібрація практично не зустрічається, але, на жаль, дуже часто виникає в технічних пристроях. Крім того, в техніці вібрацію спеціально використовують, наприклад при вібраційному транспортуванні. Є три основні механізми збудження вібрації. Перший пов'язаний з силами інерції і криволінійністю шляху; він, наприклад, викликає вібрацію наземного транспорту, що істотно зростає при русі по нерівностях агрофону. Другий обумовлюється невідновженими силами

ударної дії; він, наприклад, викликає вібрацію при куванні, штампуванні, клепці і тому подібне. Третій пов'язаний з неспівпаданням геометричного центру і центру мас системи, що обертається, і викликає вібрацію в механізмах, де є частини, що обертають. Вібрація, що впливає на людину через опорні поверхні, робить вплив на увесь організм і називається загальною. Загальна вібрація, захоплюючи усе тіло, спостерігається на усіх видах транспорту і при роботі у безпосередній близькості від джерела вібрації (промислового устаткування).

Людина реагує на вібрацію залежно від загальної тривалості її дії. Найбільша дія загальної вібрації позначається на процесах отримання інформації (в основному зоровою із-за коливань очних яблук і голови), що входить, і на процесах передачі інформації (безперервний контроль діяльності рук, що коливаються). Довготривала дія дуже інтенсивної загальної вібрації (наприклад, на трактористів) може небажаним чином позначатися на хребті і збільшувати ризик виникнення зміни хребців і дисків. Методи і засоби колективного захисту від вібрації. Для боротьби з вібрацією машин і устаткування і захисту працюючих від вібрації використовують різні методи. Боротьба з вібрацією в джерелі її виникнення пов'язана зі встановленням причин появи механічних коливань і їх усуненням. Для зниження вібрації широко використовують ефект вібродемпфування - перетворення енергії механічних коливань на інші види енергії, найчастіше в теплову.

Віброізоляція використовується при віброзахисті від дії підлогових і ручних механізмів. Віброгасінням називається гасіння вібрації за рахунок активних втрат або перетворення коливальної енергії в інші її види, наприклад в теплову, електричну, електромагнітну. Найбільш дієвим засобом захисту людини від вібрації є усунення безпосереднього контакту з віброуючим устаткуванням. Здійснюється це шляхом застосування дистанційного керування, промислових роботів, автоматизації і заміни технологічних операцій. Зниження несприятливої дії вібрації ручних

механізованих пристроїв на операторів досягається як шляхом зменшення інтенсивності вібрації безпосередньо в її джерелі (за рахунок конструктивних удосконалень), так і засобами зовнішнього віброзахисту, які є пружнодемфуючими матеріалами і пристроями, розміщеними між джерелом вібрації і руками оператора.

Для захисту від вібрації є засоби, які викладені у державному стандарті ДСН 3.3.6.039-99[46].

5.1.5 Електронебезпека

Відповідно діючим правилам побудови електроустановок ППЕ-97 приміщення лабораторій з точки зору небезпеки враження людини електричним струмом відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки електротравм [48]. Це сухі приміщення з температурою повітря $18^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ та струмо - непровідною підлогою. Електроустановки, що використовуються при виконанні даної НДР, живляться напругою 220 В змінного струму частотою 50 Гц. Причинами враження електричним струмом під час виконання трудового процесу з електрообладнанням є:

- 1) випадковий дотик до струмоведучих частин, які перебувають під напругою, через відсутність засобів недоступності або безвідповідальне відношення до безпеки персоналу;
- 2) дотик до неструмоведучих частин електроприладів, які випадково потрапили під напругу через ушкодження ізоляції чи іншого ушкодження;
- 3) потрапляння під напругу під час проведення ремонтних робіт на відключених електроприладах через помилкове їх включення.

Вплив електричного струму на організм може мати дуже небезпечні для здоров'я людини наслідки і навіть привести до смерті. Імовірність смертельного результату при поразці електричним струмом вище, ніж при інших причинах травматизму.

На дію електричної поразки впливає ряд факторів:

- 1) величина струму (1 мА);
- 2) сила струму (струм перемінний);
- 3) частота струму (50 Гц);
- 4) шлях струму в організмі (г-н, р-р, р-г);
- 5) тривалість дії струму;
- 6) стан організму;

Виробниче середовище, відноситься до 1 класу. Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- 1) забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику;
- 2) застосування електроенергії з безпечними величинами напруги;
- 3) усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;
- 4) застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом.

У лабораторії вірно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість дотику до корпусів, електроустаткування і приладів [47].

5.1.6 Електромагнітне випромінювання

Дані про виробничі випромінювання нормуються документом: Санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до відео-дисплейних терміналів, ПЕОМ і організації роботи» ДСанПіН 3.3.2-007-98 [48].

При роботі з ЕОМ, яка входить в устаткування, виникає небезпека впливу на організм робітника: невикористаного рентгенівського випромінювання, ультрафіолетового випромінювання, електростатичного поля.

Для попередження соматичних та генетичних наслідків у відповідності з СП 1960-79 для побутової радіоелектронної апаратури (РЕА) встановлені

норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання, яке не повинно перевищувати $2,78 \times 10^{-12}$ мкР/с (100 мкР/год) в будь-якій точці на відстані 5 см від 75 зовнішньої поверхні, яка обернена до оператора. Потужність експозиційної дози НРВ в будь-якій точці простору на відстані 0,05 м від корпусу установки не повинна перевищувати 0,07 мкР/с при робочому тижні 41 година. Враховуючи що робота більшою частиною проводиться за ЕОМ, запропоновано щоб час роботи за монітором не перевищував 4 години за зміну, з технологічними перервами.

5.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

5.2.1 Вимоги до організації робочого місця

Вимоги до виробничих приміщень для експлуатації ПК, організації і обладнання робочих місць наведені в ДСанПін 3.3.2.007-98 та НПАОП 0.001.2810. Конструкція робочого місця має забезпечення підтримання оптимальної робочої поз из такими ергономічними характеристиками: ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг, стегна – в горизонтальній площині, передпліччя – вертикально, лікті під кутом $(70 - 90)^\circ$ до вертикальної площини, зап'ястя зігнуті під кутом не більше $(15 - 20)^\circ$ відносно вертикально площини [46, 48].

Висота робочої поверхні столу для ПК має бути в межах (680 – 800) мм, а ширина – забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – (600 – 1400) мм, глибина – (800 – 1000) мм.

Робочий стіл для ПК повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм [47].

Організація робочого місця в аудиторії № 036 корпусу № 9 відповідає вказаним нормам.

5.2.2 Розрахунок вентиляції

Конструкція місцевих відсмоктувачів вибирається в залежності від виду технологічного процесу, обладнання та оснащення. Вона повинна забезпечувати необхідну чистоту повітря на робочому місці при мінімальних витратах повітря, яке видаляється, запобігати розповсюдженню шкідливих речовин по об'єму приміщення, не заважати виконанню технологічних операцій. Прив'язка відсмоктувачів до обладнання повинна здійснюватись з урахуванням максимально можливого приближення його до джерела шкідливих виділень. Типові схеми та конструкції відсмоктувачів, а також методи їх розрахунку узагальнено в методичних вказівках до проектування [47].

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією L_M , визначають, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування. У цьому випадку:

$$L_M = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0, \quad (5.1)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі, м/с .

Площу F_0 визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та вибраного витяжного пристрою.

При застосуванні електродугових та плазмових технологій значення V_0 знаходять, виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x (0,5 м/с) у зоні електричної дуги на відстані X (0,45 м) від центра всмоктуючого отвору:

$$V_0 = 16 \cdot V_x \cdot (X/d)^2, \quad (5.2)$$

На рис. 5.2 наведено принципову схему місцевої вентиляції необхідної для проведення ЕІЛ.

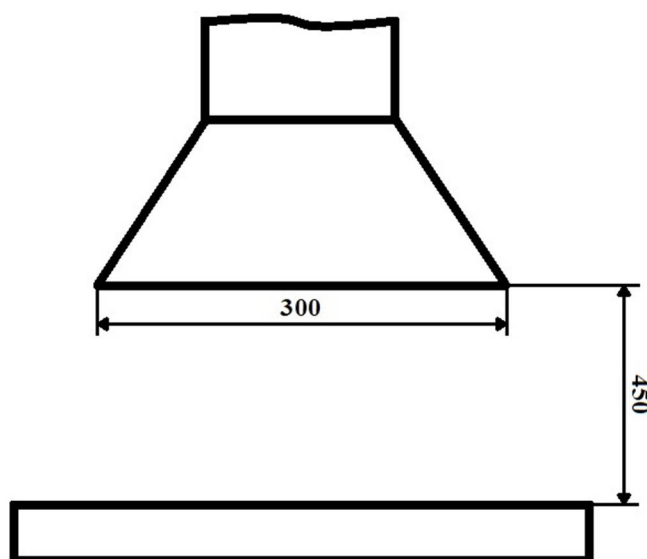


Рисунок 5.2 – Схема місцевої вентиляції

У результаті розрахунків встановлено, що швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі V_0 має становити 18 м/с, а об'єм повітря, що повинно бути видалене місцевою вентиляцією L_m – 2995 м³/год.

5.2.3 Аналіз освітлення приміщення

Залежно від джерела світла освітлення може бути: природним, штучним та суміщеним. В нашому випадку в приміщенні суміщене освітлення, тобто освітлення лабораторії природне та штучне. Природне освітлення здійснюється за допомогою двох вікон. Притік світла боковий однобічний з орієнтацією вікна на північ. Також використовується загальне робоче штучне освітлення (освітлення передбачає розміщення світильників у верхній зоні приміщення для здійснювання загально рівномірного освітлення).

Виробниче освітлення характеризується кількісними і якісними показниками. Кількісними показниками є світловий потік, сила світла, освітленість, яскравість і світимість. Якісними показниками, що визначають

умови зорової роботи, є фон, видимість, циліндрична освітленість, показник осліплення, показник дискомфорту і коефіцієнт пульсації освітлення.

Для створення сприятливих умов роботи виробниче освітлення повинне відповідати наступним вимогам:

- 1) освітленість на робочій поверхні і в межах навколишнього простору повинна розподілятися по можливості рівномірно;
- 2) на робочій поверхні не повинно бути різких тіней;
- 3) блиск повинен бути відсутнім в полі зору;
- 4) освітленість повинна забезпечувати необхідний спектральний склад світла для правильної кольоропередачі [47].

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення.

У лабораторії здійснюється природне бокове освітлення (вікна з північного боку) та штучне. Відстань від вікна до місця основної роботи складає 1 м.

Освітлення, що забезпечує нормальні зорові роботи, є важливим чинником в організації і проведенні НДР, тому що при поганому освітленні підвищується втомленість, а це негативно впливає на здоров'я людини.

Освітлення лабораторії природне та штучне. Для місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (24 одиниці у лабораторії) [47].

5.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

5.3.1 Пожежна безпека

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, за яким з регламентованою імовірністю виключається виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей

її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей [48].

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків.

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин і матеріалів, пожежі поділяються на відповідні категорії:

- 1) клас А – горіння твердих речовин, що супроводжується (підклас А1) або не супроводжується (підклас А2) тлінням;
- 2) клас В – горіння рідких речовин, що не розчиняються (підклас В2) у воді;
- 3) клас С – горіння газів;
- 4) клас Д – горіння металів легких, за винятком лужних (підклас Д1), лужних (підклас Д2), а також металовмісних сполук (підклас Д3);
- 5) клас Е – горіння електроустановок під напругою [46].

Відповідно до вищезазначеного, лабораторія за пожежною безпекою належить до категорії В, тому що в ній знаходяться тверді та важко горючі матеріали та вона одночасно не належить до категорій А, Б.

У випадку пожежі у лабораторії може горіти:

- 1) електроустановки та їхня проводка;
- 2) паркет та штори;
- 3) шафи та паперові документи, що знаходяться в них.
- 4) виникнення пожеж у лабораторії можливо за наступними причинами:
- 5) порушення технологічного режиму;
- 6) несправність електроустаткування;
- 7) необережне звертання з вогнем;
- 8) ремонт устаткування на ходу;
- 9) неправильне користування устаткуванням.

Для запобігання пожеж необхідно виключити перераховані недоліки і строго дотримуватись правил протипожежної безпеки [48].

План евакуації в разі виникнення пожежі наведено на рисунку 5.3.

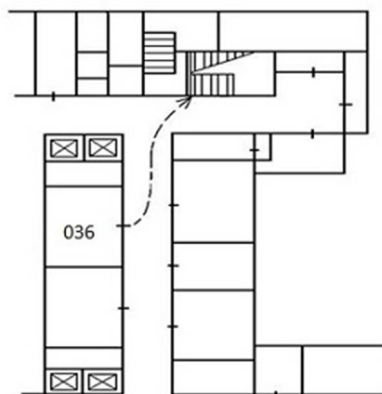


Рисунок 5.3 –План евакуації

5.3.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробією електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і довести довідома про це майстра або начальника ділянки.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити електродуговий агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника. Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний: – негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101; – приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на ділянці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо); – викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, ділянки).

У випадку одержання травми необхідно довести довідома про це майстра, начальника ділянки та звернутися в медпункт.

5.4 Висновки до розділу 5

1. Мікrokлімат в лабораторії 036–9, де проводились дослідження, відповідає вимогам санітарних норм.
2. Показники шкідливих чинників, що виникають в процесі роботи не перевищують допустимих значень.
3. З точки зору пожежної безпеки лабораторія 036 – 9 відноситься до приміщень категорії Г, проте вона обладнана необхідними засобами пожежогасіння.

ВИСНОВКИ

1. Виявлений ефект впливу дробоструменевої обробки на мікротвердість зміцненого шару, отриманого при ЕІЛ Cr – C – Ti. Мікротвердість зростає від 12,4 ГПа до 14 ГПа.

2. Встановлено збільшення мікротвердості підшару при дробоструменевій обробці після ЕІЛ Cr – C – Ti до 4,3 ГПа протяжністю 15 мкм.

3. Показано, що ЕІЛ в послідовності Cr – C – Ti призводить до більшого зростання мікротвердості поверхневого шару (до 12,4 ГПа), ніж ЕІЛ Cr – Ti – C (6,45 ГПа), що зумовлено формуванням в легованій зоні більшої кількості карбідів.

4. За допомогою стартап проекту з'ясовано, що розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей.

5. Встановлено, що НДР виконувалась в лабораторіях, які повністю відповідають вимогам електробезпеки та пожежної безпеки.

CONCLUSIONS

1. The effect of shot blasting on the microhardness of the hardened layer obtained with ESA (Cr – C – Ti) is revealed. The microhardness increases from 12.4 GPa to 14 GPa.
2. An increase in the microhardness of the sublayer during shot blasting after EIL (Cr – C – Ti) to 4.3 GPa with a length of 15 μm was established.
3. The ESA in the Cr – C – Ti sequence is shown to increase the microhardness of the surface layer (to 12.4 GPa). ESA Cr – Ti – C is 6.45 GPa, which is caused by the formation of more carbides in the doped zone.
4. With startups, it became clear that the development of this project is quite promising, because the modern market requires the use of more durable and quality parts.
5. It has been established that the NDR was performed in laboratories that fully comply with the requirements of electrical safety and fire safety.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Самсонов Г.В.* Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун. – Київ: Наукова думка, 1976. – 220с.
2. *Верхотуров А.Д.* Электродные материалы для электроискрового легирования / А.Д. Верхотуров, И.А.Подчерняева, Л.Ф. Прядко. – М.: Наука, 1988. – 224с.
3. *Верхотуров А.Д.* Технология электроискрового легирования металлических поверхностей / А.Д. Верхотуров, И.М. Муха.– Київ: Техніка, 1982. – 181с.
4. *Береснев В.М.* Некоторые аспекты повышения стойкости рабочих поверхностей трения / В.М. Береснев, В.Т. Толок. – Киев: Наукова думка. – 2016. – № 1-2. – С. 42-48.
5. *Борисов Ю.С.* Триботехнические характеристики композиционных карбидных покрытий/ Ю.С. Борисов, В.Ф. Лобунец, В.С. Сычев. – Київ: Автоматическая сварка. – 2002. – № 1-2. – С. 56-58.
6. *Гитлевич А.Е.* Особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения / А.Е. Гитлевич, П.А. Топала, В.А. Снегирев. – Київ: Наукова думка. – 2006. – №4. – С. 60-66.
7. *Philosophical Magazine* / М.А. Gharghouri, G.C. Weatherly, J.D. Embury, J. Root. – 79, 1999. – P.1671-1696.
8. *Ashby M.F.* Materials Properties in Ionic Nitriding. Pergamon Press /M.F. Ashby. – UK: Oxford, 2016.
9. *Фавстов Ю.К.* Металловедение высокодемпфирующих сплавов /Ю.К. Фавстов, Ю.Н. Шульга, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1980.
10. *Барабаш Д.П.* Ионное азотирование сталей/ Д.П. Барабаш, В.Д. Эльнуров. – М.: Мир, 1992. – 398 с.
11. *Лобачова Г.Г.* Поверхневе зміцнення сплавів заліза електроіскровим легуванням цирконієм, титаном, хромом та хіміко-термічною

- обробкою: автореф. на здобуття наук. ступеня канд. техн. Наук: спец. 05.16.01 – «Металознавство та термічна обробка металів»/ Г.Г.Лобачова. – Київ : 2012. – 20 с.
12. Mashkov Y. The effect of electric – spark treatment on the structure and properties of modified friction surfaces / Y. Mashkov, D. Korotaev // Friction and wear. 2016. – V37. – №1: 83-88.
 13. Electro-spark alloying using graphite electrode on titanium alloy surface for biomedical application / T. Chang-bin; L. Dao-xin; W. Zhan; G. Yang // Applied surface Science. – 2011. – 257. – 636 – 637.
 14. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1976. – 44 с.
 15. Мулин Ю.И. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из минерального сырья / Ю.И. Мулин, А.Д. Верхотуров. – Владивосток : Дальнаука, 1999. – 110с.
 16. Завойко О.С. Механізація процесу електроіскрового легування із застосування реакційних властивостей газів / О.С. Завойко. Фізика і хімія твердого тіла. Т.15, – №4, 2013,. – С. 897 – 903.
 17. Вплив газового середовища на формування покриттів на залізі за електроіскрового легування / Мазанко В., Храновська К., Іващенко Є., Ворона С.// Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2008. – 220 с.
 18. Mulin Y. I. Technological Solution of Forming Coatings with Required Depth During Electrosark Alloying / Y. I. Mulin, L. A. Klimova, D. A. Dmitriev // Russian Technical News Letter. – 2001. – № 3. – С. 30-31.
 19. Рыбалко А.В. Перспективы повышения производительности электроискрового легирования / А.В. Рыбалко, В.И. Хамурарь, Д.М. Гринчук // Электронная обработка материалов. – 1999. – № 1. – С. 10 – 13.
 20. Исследование поверхностных слоев вольфрамсодержащих твердых сплавов при электроискровом легировании алюминием /

- А.Д. Верхотуров, Л.А. Гордиенко, П.А. Коневцов [и др.] // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 3. – С. 52– 62.
21. Погожев Ю.С. Дисперсноупрочненные наночастицами электродные материалы и покрытия на основе карбида титана: автореф. дисс. на соискание учен.степени канд.техн.наук: спец. 05.16.06 “Порошковая металлургия и композиционные материалы” / Ю. С. Погожев. – Москва, 2006. – 25, [1] с.
 22. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка металлов / Б.Р. Лазаренко– М. : АН СССР, 1957. – 228 с.
 23. Зайцева Н. В. Структура і фазовий склад поверхневих шарів сталі після електроіскрового та деформаційного впливу : автореф. дис. на здобування наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.16.01 “Металознавство та термічна обробка металів” / Н. В. Зайцева. – Київ, 2000. – 19, [1] с.
 24. Formation and Consolidation of Mecanical Alloyed Ti – Cu Amorhos Powder / P. H. Shingu, B. Huang, S. R. Nishitani and oth. // Trans Japan Inst Metals. – 1988. – №3. – P. 198 – 207.
 25. High-Entropy Alloys – A New Era of Exploitation / J.W. Yeh, Y. L. Chen, S. J. Lin and oth. // Materials Science Forum. – 2007. – №3. – P. 1-9.
 26. Chen Z. Surface modification of resistance welding electrodes by electro – spark deposited coatings / Z. Chen, N. Scotchmer, N. Zhou // Materials Science and Technology : international scientific and technical conf., 20-25 june 2005 y. : theses of reports. – Canada, 2005. – P. 59–62.
 27. Лазаренко Н. И. Современный уровень и перспективы развития электроискрового легирования металлических поверхностей / Н. И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1967. – № 5. – С. 23–27.
 28. Ларионов Л. Н. Диффузионные процессы в металлах / Л. Н. Ларионов, В. М. Фальченко. – К. : Наукова думка, 1968. – 101 с.

29. Гончаров А.В. Повышение жаропрочности стали с нанесенным электроискровым методом NiCr покрытием/А.В.Гончаров –Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2015, Том 6, № 4, С. 436 – 439 2015 г. (Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)
30. Вплив хромового аноду на формування поверхневих шарів сплавів Fe-Cr при електроіскровому легуванні / Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова, Л.Ф. Яценко, В.Ф. Мазанко // Вісник Українського матеріалознавчого товариства. — 2010. — № 1(3). — С. 16-22. — Бібліогр.: 5 назв. — укр.
31. Хоником Р.Пластическая деформация металлов/Р. Хоником – М.: Мир, 1972. – 408 с.
32. Высокоскоростные ударные явления/ Пер. с англ. под ред. В.Н.Николаевского. – М.:Мир,1973. – 457 с.
33. Седов Л.И. Механика сплошной среды/ Л.И.Седов – Т.2. – М.:Наука,1973. – 584 с.
34. Ивлев Д.Д. Теория идеальной пластичности./ Д.Д.Ивлев – М.:Наука, 1966 – 232 с.
35. Глушак Б.Л. Исследование прочности материалов при динамических нагрузках/ Б.Л. Глушак, В.Ф. Куропатенко, С.А. Новиков – Новосибирск: Наука, 1992. – 295 с.
36. Афтаназів І.С. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: Навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090202 „Технологія машинобудування”, 7.090203 „Металорізальні верстати та системи”/ І.С. Афтаназів, А.П. Гавриш, П.О. Китичок і ін. – Житомир: ЖІТІ, 2001 – 516 с.
37. Хэйвуд Р.Б. Проектирование с учетом усталости/ Р.Б.Хэйвуд – 1969, 504 с.
38. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
39. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

40. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
41. Дрейпер, У. Стартапы : профессиональные игры Кремниевой долины / У. Дрейпер ; пре- дисл. Э. Шмидта ; пер. с англ. В. Егорова. – Москва : Эксмо, 2012. – 378 с.
42. Харниш В. Правила прибыльных стартапов : как расти и зарабатывать деньги / В. Харниш ; пер. с англ. В. Хозинского. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 279 с.
43. Коэн Д. Стартап в Сети : мастер-классы успешных предпринимателей / Д. Коэн, Б. Фелд ; пер. с англ. М. Иутина. – 2-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2013. – 337 с.
44. Основи охорони праці / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. // За ред. К.: Основа, 2006. – 448 с.–К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського.
45. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу № 0472-14.
46. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
47. НПАОП 28.0-1.37-14. Правила охорони праці при нанесенні металопокриттів.